

УДК 621.391

А.Г. ДОДОНОВ*, В.Г. ПУТЯТИН*

РАДИОТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ВНЕШНЕТРАЕКТОРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

*Институт проблем регистрации информации НАН Украины, г. Киев, Украина

Анотація. Наведено короткий огляд та основні тактико-технічні характеристики ретроспективних і сучасних наземних радіотехнічних і радіотелеметричних засобів високоточних зовнішньотраекторних вимірювань, що використовуються на науково-дослідних випробувальних полігонах, космодромах, лабораторно-випробувальних базах і майданчиках полігонів при відпрацюванні зразків ракетно-космічної та авіаційної техніки.

Ключові слова: вимірювання, полігон, радіотехнічні засоби, комплекси, радіолокаційні станції, радіотелескоп, траекторія, траекторні вимірювання.

Аннотация. Приведены краткий обзор и основные тактико-технические характеристики ретроспективных и современных наземных радиотехнических и радиотелеметрических средств высокоточных внешнетраекторных измерений, используемых на научно-исследовательских испытательных полигонах, космодромах, лабораторно-испытательных базах и площадках полигонов при отработке образцов ракетно-космической и авиационной техники.

Ключевые слова: измерения, полигон, радиотехнические средства, комплексы, радиолокационные станции, радиотелескоп, траектория, траекторные измерения.

Abstract. The brief review and main tactical and technical characteristics of retrospective and modern ground-based radio-technical and radiotelemetric means of high-precision external trajectory measurements used at research and testing test sites, cosmodromes, laboratory-test bases and test sites during the development of rocket-space and aviation equipment are given.

Keywords: measurements, test site, radio engineering means, complexes, radar stations, radio telescope, trajectory, trajectory measurements.

1. Введение

Значительное место в процессе создания новых, эксплуатации и модификации существующих образцов ракетно-космической и авиационной техники (РКТ/АТ) – летательных аппаратов/объектов (ЛА/ЛО) – занимают разного рода испытания с целью определения (проверки) тактико-технических характеристик (ТТХ) объектов испытаний в различных условиях их применения. Расширение диапазона применения современных ЛА/ЛО предъявляет повышенные требования к оценке их ТТХ, для выполнения которых в настоящее время при доводочных (летных) испытаниях образцов ЛА/ЛО на научно-исследовательских испытательных полигонах (НИИП), космодромах, испытательных площадках [1–3] широко применяются радиотехнические измерительные системы (РТИС) для точного определения координат (азимута, угла места, дальности, а также их первых производных), включая космические аппараты/объекты (КА/КО), фиксирования траектории падения баллистических (БР) и крылатых ракет (КР), фиксирования промаха противоракеты, обнаружения стартовых позиций и запусков межконтинентальных баллистических ракет (МБР), обработки результатов измерений и их регистрации и др.

По значениям внешнетраекторных параметров (ВТП) полета испытуемых современных ЛА/ЛО, таких как наклонная дальность (D), радиальная скорость объекта (v_r), угловые координаты (азимут β и угол места ε), косинусы направляющих углов между линиями визирования и двумя ортогональными направлениями (\cos_x), (\cos_z), скорость

изменения угловых координат (v_β, v_ϵ), высота траектории в заданный момент времени (H), оценивается качество их функционирования и выявляются причины, обусловившие возникновение нештатных ситуаций [4, 5]. Для определения названных параметров в составе полигонных измерительных комплексов (ПИК) и командно-измерительных комплексов (КИК) космодромов имеются различные РТИС, основными из которых являются радиолокационные станции (РЛС), фазовые пеленгаторы, фазово-гиперболические станции, радиотехнические комплексы, многопараметрические системы [2].

Целью статьи является краткий обзор наземных радиотехнических средств высокоточных внешнетраекторных измерений, используемых на научно-исследовательских испытательных полигонах, лабораторно-испытательных базах, площадках полигонов и космодромах.

2. Назначение средств траекторных измерений

При разработке ЛА/ЛО из-за невозможности получения необходимого теоретического описания до 40% всех возникающих проблем решаются при помощи большого количества разнообразных по сложности и характеру испытаний, в том числе и самые сложные и дорогостоящие – натурные испытания [1, 2], по результатам которых вырабатываются ответственные решения о качестве и пригодности разрабатываемых или модернизируемых изделий. Контроль за местоположением ЛА/ЛО в пространстве и параметрами его движения – сфера ответственности ПИК, в состав которых входят системы внешнетраекторных измерений (СВТИ). Для измерения параметров движения ЛА/ЛО (самолетов, вертолетов, ракет) применяют радиотехнические, оптические, электронно-оптические и оптико-электронные средства, а также средства, основанные на использовании спутниковых навигационных систем (СНС) [6, 7]. Например, информация СНС измерений и глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) используется для высокоточного определения параметров движения КА/КО. Наземный сегмент СВТИ предназначен для решения задач высокоточного апостериорного восстановления и анализа траектории движения контролируемого объекта по полученным в ходе полета ЛА/ЛО от бортовой навигационной аппаратуры и бортовой радиотелеметрической системы (БРТС) измерений радионавигационных параметров. Навигационная система Европы [7] применяется для точного определения с помощью искусственных спутников земли (ИСЗ) местоположения (координат цели в трехмерном пространстве) космического аппарата с точностью Δ_D до 1 м, текущих значений высоты его полета Δ_H до 20 см и скорости Δ_v до 0,3 мм/с. Основными требованиями к техническим средствам траекторных измерений (ТС ТИ), использующих аппаратуру потребителей СНС измерений и ГНСС, являются скорость движения объекта испытаний v_0 до 500 м/с; среднеквадратичная погрешность (СКП) определения координатных и скоростных параметров движения по координатам Δ – не более 2 м.

Для достоверного анализа ТТХ объекта испытаний и соответствия реально получаемых характеристик испытываемого объекта предъявляемым требованиям необходимо иметь высокоточные траекторные измерения, позволяющие выявлять отклонения реальной траектории от заданной; оценивать эффективность функционирования испытываемых объектов; определять причины, вызвавшие несоответствие характеристик предъявляемым требованиям. Под траекторными измерениями понимают [6] определение параметров траекторий движения (координат, вектора скорости, углового положения в пространстве и др.) объекта испытаний в атмосфере и космическом пространстве (КП). Результаты траекторных измерений, проводимых наземными РТИС и бортовыми приемопередатчиками, используются для определения траектории (параметров) движения объекта испытаний в заданных системах координат и прогноза его дальнейшего движения; анализа разных нештатных ситуаций при испытании и в процессе эксплуатации изделий. При отсутствии точной трае-

кторной информации о ЛА/ЛО в любой момент времени возрастает риск его гибели или ограничения возложенных на него функциональных возможностей.

В состав СВТИ в общем случае входят оптико-электронные, телевизионные и оптические средства траекторных измерений; РЛС ТИ; ТС ТИ, использующие аппаратуру потребителей СНС и ГНСС; автономные средства определения параметров взаимного положения ракет и мишеней в районе встречи; измерительный беспилотный авиационный комплекс [1, 2]. Описание и отдельные ТТХ ретроспективных и современных наземных оптических, оптико-электронных, квантово-оптических, лазерно-телевизионных средств и систем высокоточных ТИ, используемых на НИИП, космодромах и лабораторно-испытательных базах (ЛИБ) и площадках полигонов приведено в [4, 5]. Современные СВТИ характеризуются многопараметричностью (измеряются координаты и составляющие вектора скорости, разности координат и др.), многоканальностью (обеспечиваются одним средством измерения параметров одновременно несколько объектов испытаний), большой дальностью действия, высокими точностью, надёжностью, степенью автоматизации, позволяющей обрабатывать данные на цифровых вычислительных машинах (ЦВМ) и получать параметры траектории ЛА/ЛО в реальном масштабе времени (РМВ). Здесь РМВ – понятие, относящееся к своевременности данных или информации, задержки в представлении которых происходят только в связи с затратой времени на электронную связь; при этом подразумевается отсутствие «заметных» задержек.

Основную роль по получению информации о работе ЛА/ЛО в процессе проведения испытаний выполняет ПИК – совокупность информационно взаимосвязанных специальных технических средств (ТС) и сооружений для проведения телеметрии, измерений текущих навигационных и сигнальных параметров, сбора и обработки информации с необходимым математическим обеспечением, выдачи команд и программ управления, создания единой системы отсчета времени и синхронизации работы, предназначенных для приема, регистрации, обработки и выдачи потребителям всех видов информации при испытаниях различных образцов РКТ/АТ (например, ракет космического назначения – РКН и разгонных блоков – РБ). ПИК включает в себя следующие ТС: приёма и регистрации телеметрической информации (ТМИ); измерения параметров траектории движения объекта; сбора и передачи измерительной информации (ИИ); обработки телеметрической и траекторной информации; системы единого времени; управления и связи.

3. Системы и радиолокационные станции траекторных измерений

РЛС ТИ обеспечивают непрерывный обзор воздушного и космического пространства и решение задач по выявлению ЛА/ЛО, БР, КА/КО в полете; сопровождению обнаруженных целей, измерению их координат с последующим определением параметров траекторий ЛА/ЛО, БР и орбит космических объектов; классификации целей, определению точек старта и падения БР. Основными требованиями к РЛС ТИ являются дальность измерения $D_{изм}$ – не менее 300 км; среднеквадратичная погрешность измерений: угловых координат $\Delta_{\beta, \epsilon}$ – не более 3' (угловых минут), дальности до динамической цели $\Delta D_{дц}$ – не более 10 м; автоматический (полуавтоматический) захват и сопровождение – до 5 объектов.

Система ТИ «Индикатор-Д» осуществляла контроль межконтинентальных баллистических ракет Р-1, Р-2, Р-7 на всех участках полета, вплоть до соприкосновения с землей [8]. Работа системы радиотехнического контроля основывалась на принципах работы импульсных РЛС с полноповоротной антенной и бортовым ответчиком. Траекторно-измерительная система «Индикатор-Д» обладала дальностью $D = 500$ км и высокой для начала 50-х годов точностью на этих расстояниях $\Delta_D = 50$ м по дальности и $\Delta_{\beta} = 3,6'$ по азимуту. В результате модернизации системы была создана РЛС «Бинокль», работающая по радиоответчику «Факел», который устанавливался в передней части ракеты. Система

«Индикатор-Д» впервые позволила точно воспроизвести траекторию полета ракеты по наблюдениям с наземных радиопунктов.

РЛС «Бинокль-Д» – мобильная импульсная РЛС радиоконтроля траектории 10 см диапазона [9] входила в первую СТИ в ПИКе Байконура и обеспечивала измерение наклонной дальности и угловых координат КА, на котором был установлен бортовой приемоответчик «Рубин-Д». Станция «Бинокль» и ее модернизация «Бинокль-Д» тоже была разработана для контроля траектории ракеты Р-7 (8К71) с отделяющейся головной частью и дальностью полёта 8 тыс. км и успешно обеспечила все ТИ при пусках ракеты и первых трех спутников. Станциями «Бинокль-Д» были оснащены как район старта, так и все ИП КИК. РЛС «Бинокль-Д» при работе по приемоответчику «Рубин-Д» обеспечивала измерение по дальности более 3000 км с погрешностью $\Delta_D = 15 \div 50$ м и по угловым координатам $\Delta_{\beta, \varepsilon} = 3'$. Впоследствии станция «Бинокль-Д» была заменена более современной РЛС «Кама».

РЛС «Дарьял» («Дарьял-У») – для надгоризонтного обнаружения запуска баллистических ракет, сопровождения БР/КО [10]. Станция представляла собой гигантский комплекс оборудования, размещаемый в двух разнесенных на $D=500 \div 1500$ м высотных зданиях – «приемнике» и «передатчике». Приёмная антенна представляет собой активную фазированную антенную решётку (АФАР) размером 100×100 метров с размещёнными в ней почти 4000 крест-вибраторами, передающая антенна АФАР размером 40×40 метров заполнена 1260 сменными модулями с выходной импульсной мощностью каждого 300 кВт. Импульсная мощность РЛС до 378 МВт. ТТХ РЛС базового варианта «Дарьял»: дальность действия – до 6000 км; точность определения координат цели $\sigma_{ки}$ – до 0,2 м; минимальная эффективная площадь рассеивания (ЭПР) цели – 0,1 м²; сектор обзора: по азимуту – 90°, по углу места – 40°. Станция работает в метровом диапазоне и способна обнаруживать и одновременно сопровождать около 100 целей с ЭПР цели 0,1 м² на D – до 6000 км. Модификация РЛС «Дарьял-У» отличалась пониженным энергетическим потенциалом и увеличенными возможностями по управлению им за счёт уменьшения количества передающих элементов АФАР. Минимальная дальность действия D_{\min} снижена со 150 до 15÷20 км. В модификации РЛС «Дарьял-УМ» увеличен сектор сканирования до 110° по азимуту.

РЛС «Волна» – загоризонтная радиолокационная станция (ЗГРЛС) дальней зоны [11] предназначена для контроля надводной и воздушной обстановки, обнаружения надводных и воздушных (ВЦ) целей режимом поверхностной волны в ближней 200-мильной зоне, а в дальней зоне – порядка 3000 км вести радиолокационную разведку через ионосферу посредством пространственной волны. РЛС «Волна» включала в себя ФАР длиной до 1500 м при высоте приёмного элемента до 5 м, одним из элементов которой является морская поверхность. На данный момент станция прошла модернизацию и стоит на вооружении.

РЛС «Волга» – стационарная РЛС дециметрового диапазона [12] предназначена для обнаружения полётов БР/КО на расстоянии до 5000 км, а также сопровождения, идентификации и измерения координат целей на западном ракетоопасном направлении (вероятном направлении ракетного удара со стороны противника) с последующей выдачей информации на Центральный командно-вычислительный пункт системы предупреждения о ракетном нападении (СПРН). Станция является элементом российской СПРН и предназначена для контроля территории Западной Европы и районов патрулирования подводных лодок НАТО в Северной Атлантике и Норвежском море. РЛС обнаруживает все типы стратегических БР в полёте, а также космические объекты, идентифицирует их и отслеживает траекторию, рассчитывая точки старта и падения. Дальность обнаружения $D_{\text{обн}} = 4800$ км (2000 км по объектам с ЭПР 0,1–0,2 м² в азимутальном секторе 120° (4°÷70° по углу места, направление по азимуту – 262,5°). Передающая и приёмная антенны построены на основе

АФАР. Для обеспечения развязки их позиции разнесены на 3 км. ТТХ: Контроль баллистических ракет: обнаружение в полёте+идентификация+отслеживание траектории+расчёт точки старта+расчёт точки падения. Контроль космических объектов: обнаружение в полёте+идентификация+отслеживание траектории+расчёт точки старта+расчёт точки падения. Максимальная $D_{обн}$ – 4800 км. Размер передающей АФАР – 36x20 м. Размер приёмной АФАР – 36x36 м. В 2003 году РЛС «Волга» была поставлена на боевое дежурство. В автоматическом режиме станция поддерживает связь с многофункциональной станцией «Дон-2Н».

РЛС «Дунай» – название семейства РЛС дальнего обнаружения, входивших в состав системы противоракетной обороны (ПРО) А-35, а также в её опытную и модифицированную версии [13]. Модификации РЛС: «Дунай-1», «Дунай-2», «Дунай-3», «Дунай-3М», «Дунай-3У». РЛС «Дунай-1» предназначена для дальнего обнаружения самолетов и баллистических целей (БЦ) – баллистических ракет малой дальности (от 500 до 1000 км), средней дальности (от 1000 до 5500 км, межконтинентальные (свыше 5500 км), межконтинентальных баллистических крылатых ракет.

РЛС «Дунай-2» предназначалась для дальнего обнаружения БЦ, построения их траекторий и выдачи данных целеуказания (ЦУ) радиолокаторам точного наведения [13]. Она представляла собой РЛС непрерывного излучения в метровом диапазоне волн и определяла дальность и две угловые координаты (азимут β и угол места ε) цели. Станция состояла из передающей и приемной антенн, разнесенных на местности, приемно-передающей аппаратуры, вычислительной станции и вспомогательных устройств. Мощность передатчика $P = 100$ кВт. Максимальная дальность обнаружения $D_{обн}$ цели была на уровне $D_{max} = 1200$ км. Передающая и приемная позиции станции со своими антенными системами были разнесены на местности на расстояние 1 км. Передающая антенная система была выполнена в виде параболического цилиндра, облучаемого с помощью двух щелевых волноводных облучателей. Габаритные размеры передающей антенной системы $G = 8 \times 150$ м. Передающая антенна формировала в пространстве две диаграммы направленности размером $0,6^\circ \times 16^\circ$. Приемная антенная система состояла из двух ярусов антенн, аналогичных передающей антенной системе, и двух пар волноводных щелевых облучателей. РЛС «Дунай-3» является дальнейшим развитием станции «Дунай-2».

РЛС «Дунай-3М» состояла из приемного и передающего комплексов, разнесенных на расстояние 2,5 км [13]. Передающий комплекс включал в себя две секторные передающие станции, совмещенные в одном здании, с находившимся в нём технологическим оборудованием, и направленные в строго противоположные стороны. Геометрические размеры ФАР: длина 200 м, высота около 30 м. Мощность передатчиков каждой станции $P = 3$ МВт. Приемный комплекс представлял собой две совмещенные антенны, выполненные в виде отдельного сооружения (100 м \times 100 м), расположенные в параллельной плоскости с антеннами передающего комплекса, и здание с аппаратурой обработки принятого сигнала. Дальность действия РЛС «Дунай-3М» составляла $D_{обн} = 2500$ км.

РЛС «Дунай-3У» – станция непрерывного излучения с линейной частотной модуляцией [14]. ТТХ РЛС: темп обзора пространства – 4 с, построочечный по типу телевизионного раstra. Первая строка – каждую секунду, вторая – через две секунды, остальные 14 строк через четыре секунды. Сектор обзора пространства по азимуту β и углу места ε составляет $48^\circ \times 48^\circ$. Конструктивная $D_{обн}$ баллистических целей – не менее 5 тыс. км. Минимальный угол места $\varepsilon_{min} = 0,5^\circ$. Излучаемая мощность в непрерывном режиме $P = 3$ тыс. кВт. Чувствительность приемного устройства $S = 10-18$ Вт. РЛС позволяет осуществлять автоматическое обнаружение и построение траекторий КО, а также их классификацию (спутники, боевые атакующие ракеты). РЛС позволяет определять характер налета (одинок

чная цель, сложная баллистическая цель (СБЦ), групповой налет, массированный налет). СБЦ – совокупность совместно движущихся по баллистическим траекториям боевых блоков, средств преодоления ПРО, элементов конструкции последней ступени, а также отделяющихся фрагментов (дополнительных целей), принадлежащих одной БР. Пропускная способность: радиотехнического тракта – не ограничена, вычислительного комплекса – характеризуется возможностями построения не менее 1000 траекторий КО (32 СБЦ) одновременно. Максимальные ошибки измерения координат составляют: по дальности ΔD_{\max} – не более 100 м, по азимуту $\Delta\beta_{\max}$ – не более 5' (угловых минут), по углу места $\Delta\varepsilon_{\max}$ – не более 7'.

РЛС П-19 «Дунай» – мобильная двухкоординатная РЛС дециметрового диапазона волн [15] предназначена для своевременного обнаружения и сопровождения ЛО в пределах зоны видимости, определения государственной принадлежности (далее госпринадлежности) и выдачи их координат (дальность, азимут) потребителям информации о воздушной обстановке. ТТХ: максимальная $D_{\text{обн}}$ (действия)=160 км; $D_{\text{обн}}$, км, при эффективной площади вторичного излучения $2,5 \text{ м}^2$ с вероятностью $P=0,5$ при отсутствии помех на высотах Н: 100 м – 32; 500 м – 60; 1 000 м – 80; 4 000 м – 140; зона обзора по азимуту $\beta=360^\circ$; зона обзора по высоте Н – до 6000м; темп обзора, с, 6, 12; чувствительность приемника $S = 2 \times 10^{-14}$ Вт; ширина ДНА по азимуту – $4,5^\circ$; диапазон частот (волн) – дециметровый; разрешающая способность: по дальности $\Delta D_{\text{мин}} = 2500$ м, по азимуту $\Delta\beta_{\text{мин}} = 8^\circ$; точность измерения координат: по дальности $\Delta D = 2\ 000$ м; по азимуту $\Delta\beta = 2^\circ$; диапазон перестройки частоты: 837,5 – 880 МГц.

РЛС П-19Р предназначена для обнаружения летательных объектов, измерения их дальности, азимута и радиальной скорости, автоматического сопровождения трасс целей, а также передачи радиолокационной информации (РЛИ) в интегрированную систему управления [16]. ТТХ: максимальная дальность действия – 300км. Дальность обнаружения, км, при эффективной площади вторичного излучения $2,5 \text{ м}^2$ с вероятностью 0,5 при отсутствии помех на высотах: 100 м – 35; 500 м – 70; 1 000 м – 90; 4 000 м – 150. Измеряемые координаты и параметры: дальность, азимут, радиальная скорость. Разрешающая способность: по дальности $\Delta D_{\text{мин}} = 600$ м; по азимуту $\Delta\beta = 6^\circ$. Точность измерения координат: по дальности $\sigma_D = 100$ м; по азимуту $\sigma_\beta = 0,3^\circ$. Перестройка частоты – электронная. Диапазон перестройки частоты: 825÷890 МГц с шагом 0,4 МГц. Количество сопровождаемых трасс – до 150. Коэффициент подавления отражений от местных предметов, дБ, не менее 50. Импульсная мощность передатчика – не менее 8 кВт. Среднее время наработки на отказ $T_1=900$ ч. Время восстановления работоспособного состояния $T_в$ – не более 30 мин.

РЛС «Дуга» – ЗГРЛС – предназначена для раннего обнаружения МБР, одиночного, группового и массового старта МБР, стартов крылатых ракет «Томагавк» с подводных лодок в Атлантике [17]. В основу её создания положен принцип загоризонтной локации на основе отражения радиосигнала от ионосферы в диапазоне коротких волн. Станция обеспечивала просмотр обширного воздушного пространства, включая Китай. Известны, как минимум, три такие станции: экспериментальная установка «Дуга-Н» возле Николаева, в районе Чернобыля «Дуга № 1» (объект Чернобыль-2), в Комсомольске-на-Амуре. ЗГРЛС обнаруживает МБР по их стартовому факелу и работает на основе отражения радиосигнала от ионосферы, поэтому получила название ЗГРЛС пространственной волны. Приемная антенна имеет высоту 135 м, ширину 300 м и оснащена 330 вибраторами размером около 15 метров каждый. Передающая антенна имела ширину 210 м и высоту 85 м. Стационарный комплекс включает 26 передатчиков, каждый размером с двухэтажный дом.

РЛС «Кама» [18] предназначена для траекторных измерений в активном режиме по сигналам ретранслятора, ответчика и в пассивном режиме – по отраженному сигналу. Ста-

ния имеет два варианта конструктивного исполнения: стационарное и подвижное. ТТХ: Дальность действия $D_{обн} = 2500$ км. Диапазон частот – дециметровый. Диаметр антенны – 2,5 м. Рабочие диапазоны: по дальности $D=3\div 2880$ км; по радиальной скорости $v_r=11$ км/с; по азимуту $\beta=0\text{--}360^\circ$; по углу места $\varepsilon=3\text{--}85^\circ$. Станции «Кама», работавшие с бортовым приемоответчиком «Рубин», представляли собой модификацию радиолокаторов системы противовоздушной обороны (ПВО). В качестве полигонных РЛС траекторных измерений широкое применение находили РЛС типа «Кама» различной модификации («Кама-А», «Кама-Е», «Кама-К», «Кама-ИК», «Кама-Н»). Эти станции имеют узкие диаграммы направленности антенны (ДНА) игольчатого типа, а их первоначальное наведение на цель выполняется в режимах поиска РЛС или по целеуказаниям от других средств ПИК. РЛС «Кама-А» использовалась для траекторных измерений космических аппаратов ближнего Космоса.

РЛС «Кама-ИК» предназначена для измерения текущих координат траектории ЛА. Станция имеет 9 модификаций по несущим частотам в диапазоне $2723\div 2760$ МГц и может работать в 3-х режимах: пассивном (по отражённым сигналам), активном (с импульсным когерентным ответчиком) и комбинированном [19]. РЛС «Кама-ИК» – мобильная полигонная измерительная система, обеспечивающая в РМВ высокоточное измерение дальности, радиальной скорости и угловых координат летательного аппарата как с помощью ретранслятора, так и по отраженному сигналу с погрешностями по дальности Δ_D – около 10 м, по скорости Δv_r – около 10 см/с, по углам Δ_β и Δ_ε – около $1,5'$ на дальностях D до 3000 км. В системе были использованы эффективные методы обработки сигнала – излучение неравномерной последовательности из 6 когерентных импульсов, распределенных во времени по коду Шермана, обладающему высокими корреляционными свойствами и обеспечивающему однозначное измерение дальности в пределах 3000 км.

РЛС «Кама-Н» предназначена для измерения текущих координат траекторий ЛО/ЛА (спутников, ракет, снарядов, шаров и т.д.) как в составе ПИК, так и при автономной работе [20]. РЛС «Кама-Н» работает в одном из двух режимов: по ответному сигналу бортового приемопередатчика, по отраженному сигналу. РЛС «Кама-Н» производит регистрацию измеренных координат объекта испытаний на жесткий магнитный диск (в долговременную память) ЭВМ в РМВ, темп регистрации 20, 10, 1 кадр/с (один кадр содержит значения текущего времени, наклонной дальности, азимута, угла места и служебной информации о работе РЛС). РЛС «Кама-Н» производит передачу измеренных координат ЛО/ЛА через интерфейс RS-232, темп передачи 20, 10, 1 кадр/с. ТТХ: дальность действия: по ответному сигналу с импульсной мощностью передатчика $P_{имп}=100$ Вт, дальность $D_{обн} = 2500$ км, по отраженному сигналу по объекту с ЭПР 1 м^2 , дальность $D_{обн} = 50$ км. Суммарная среднеквадратическая инструментальная погрешность (ошибка) измерения Δ_D параметров траектории сопровождаемого ЛО/ЛА: дальность по ответному сигналу Δ_D не более 15 м, дальность по отраженному сигналу Δ_D не более 8 м. Суммарная $\Delta_{D\Sigma}$ измерения дальности обеспечивается при радиальной скорости не более 11000 м/с, радиальном ускорении не более 300 м/с^2 . Суммарная $\Delta_{\beta\Sigma}$ измерения азимута обеспечивается при скорости изменения азимута v_β не более $18^\circ/\text{с}$, угловом ускорении $3^\circ/\text{с}^2$. Суммарная $\Delta_{\varepsilon\Sigma}$ измерения угла места обеспечивается при скорости изменения угла места v_ε – не более $9^\circ/\text{с}$, угловом ускорении – $3^\circ/\text{с}^2$. Автоматическое сопровождение ЛО/ЛА при скорости изменения угловых координат – не более $25^\circ/\text{с}$, угловом ускорении – не более $10^\circ/\text{с}^2$. Пределы измерения координат ЛА: по дальности – от 3 до 2880 км, по азимуту – от 0 до 360° , по углу места - от -3° до $+87^\circ$. Условия эксплуатации: влажность воздуха при температуре окружающей среды – не более 25°C, не более 98%, рабочая температура окружающей среды – от -40°C до $+50^\circ\text{C}$, предельная температура окружающей среды – от -50°C до $+60^\circ\text{C}$.

РЛС «Дон-2Н» – стационарная многофункциональная РЛС кругового обзора сантиметрового диапазона с ФАР – предназначена для контроля космического пространства, обнаружения атак БР, их сопровождения и наведения противоракет [21]. РЛС «Дон-2Н» решает задачи обнаружения БЦ, селекции, сопровождения, измерения координат и наведения на них ракет-перехватчиков с ядерной боевой частью. РЛС представляет собой четырёхгранную усеченную пирамиду высотой 33–35 м, длиной сторон 130–144 м у основания и 90–100 м по кровле с неподвижными крупноапертурными АФАР диаметром 18 м (приёмными и передающими) на каждой из четырёх граней с зоной обзора во всей верхней полусфере. Станция «Дон-2Н» уникальна и не имеет аналогов в мире. ТТХ: рабочий диапазон – сантиметровый (длина волны 7,5 см). Угол обзора по азимуту – 360° . $D_{обн}$ головной части МБР – 3700 км. Высота обнаружения цели $H=40\ 000$ км. Точность сопровождения цели: по дальности $\Delta_D=10$ м; по угловым координатам Δ_β и $\Delta_\epsilon=0,6'$. Излучаемая импульсная мощность $P_{изл}=250$ МВт. В ходе проведённого в 1996 году эксперимента «Одеракс» она смогла обнаружить и построить траекторию малых космических объектов диаметром 5 см на расстоянии 500 – 800 км при высоте цели 352 км. После обнаружения их сопровождение осуществлялось на D до 1500 км. Для РЛС характерна высокая точность измерения параметров траектории целей, способность обнаружения малозаметных целей; способность отслеживать цели, летящие с высокой скоростью. РЛС обнаруживает в полете баллистические ракеты, а также космические объекты на расстоянии нескольких тысяч км, а также может сопровождать эти цели, идентифицировать их и измерять координаты, обеспечивая контроль западного направления в азимутальном секторе 120° . В 1989 г. РЛС «Дон-2Н» заменила станции типа «Дунай» и «Дунай-3У».

РЛС «Дон-2НП» – многофункциональная РЛС кругового обзора [22], усеченный полигонный вариант РЛС «Дон-2Н», предназначена контролировать воздушное пространство от атак баллистических ракет и контролировать КП на высоте до 40000 км. РЛС «Дон-2НП» – это Г-образное здание размером 120x160 м, высотой $H=37$ м и зоной обзора в 271° . Станция представляет собой усеченную пирамиду длиной и шириной – по 100 м, высотой $H=35$ м. На четырех сторонах пирамиды установлены ФАР диаметром 16 м.

РЛС «Дон-2НП» «видит» микроспутники – металлические шары диаметром 5, 10 и 15 см на предельной дальности.

РЛС «Небо» – семейство РЛС метрового диапазона волн [23]. Выпускалась в версиях для войск ПВО и сухопутных войск (СВ). Включает «Небо» 55Ж6, «Небо-СВ» 1Л13 (П-18М «Небо-СВУ» 1Л119, «Небо-У» 55Ж6У (экспортная версия «Небо-УЕ» 55Ж6УЕ), «Ниобий» 55Ж6УМ, «Небо-М» 55Ж6М (экспортная версия «Небо-МЕ» 55Ж6МЕ).

РЛС «Небо» 55Ж6 [23] – трехкоординатная транспортабельная версия для ПВО. РЛС предназначена для обнаружения, опознавания, измерения трех координат и сопровождения ВЦ, включая самолеты, изготовленные по технологии «Стелс». ТТХ: дальность обнаружения $D_{обн}$ цели типа «истребитель»: на высоте 20 км – до 400 км; на высоте 500 м – до 65 км. РЛС работает в метровом диапазоне волн и совмещает функции дальномера и высотомера. В вертикальной плоскости реализовано (без использования фазовращателей) электронное сканирование высотомерным лучом в каждом элементе разрешения по дальности. ТТХ: антенна – ФАР. Габариты антенны – 16x3,24 м. Диапазон длин волн – метровый. Зона обзора: по дальности $D=600$ км/1200 км (предельная), по азимуту $\beta=360^\circ$, по углу места $\epsilon=16^\circ$, по высоте $H=75$ км. Зона измерения трех координат цели типа «истребитель»: по дальности (на высоте): 65 км (300 м), 300 км (10000 м), более 400 км (20000 м), по углу места – 16° , по высоте – 60 км. Точность измерения координат цели: по дальности $\Delta_D=400/500$ м (по разным данным), по азимуту $\Delta_\beta=24'$ (угловых минут), по высоте $\Delta_H=750/850$ м (по разным данным). Коэффициент подпомеховой видимости системы

СДЦ – 45 дБ. Вид выходной информации – координатные точки. Объем выдаваемой информации – не менее 300 координатных точек. Период полного оборота на 360° /температура обновления информации – 10 с. Условия работы: температура окружающего воздуха – от -50 до $+50^\circ\text{C}$, скорость ветра – до 35 м/с. Модификации: 55Ж6 «Небо» – базовый вариант РЛС. Время развертывания – 22 часа. Среднее время наработки на отказ – 150 часов. Потребляемая мощность – 100 кВт.

РЛС «Небо-У» 55Ж6У – трехкоординатная РЛС дежурного режима предназначена для обнаружения, измерения координат и сопровождения ВЦ разных классов [24]: самолетов, крылатых ракет, управляемых ракет, малоразмерных гиперзвуковых, баллистических, малозаметных с использованием технологии «Стелс». РЛС обеспечивает распознавание классов целей, определение госпринадлежности ВЦ, пеленгацию постановщиков активных помех (ПАП). В некоторых источниках и в проспектах с выставок РЛС носит название «Небо-УЕ». В станции применена крестообразная ФАР, горизонтальная часть которой является антенной дальномера, а вертикальная – антенной высотомера. РЛС «Небо-У» способна захватывать воздушные цели на дальности до 400 км и по высоте до 20 000 м. При этом она легко ловит и низколетящие цели (НЛЦ). На высоте 50–60 метров способна отличить птичью стаю от крылатой ракеты или легкомоторного самолета.

РЛС «Ниобий» [23] является развитием базового варианта РЛС «Небо-У», предназначена для наблюдения за воздушным пространством, обнаружения различных целей и определения их координат. По имеющимся данным, станция способна находить и сопровождать как аэродинамические (самолеты, вертолеты, крылатые ракеты и т.д.), так и баллистические цели (боевые блоки ракет). РЛС «Ниобий» может контролировать воздушное пространство в радиусе 10–600 км без ограничений по азимуту. Максимальная высота обнаружения цели $H_{\max} = 80$ км при угле места $\varepsilon = 0^\circ\div 30^\circ$. При досопровождении цели максимальный угол места ε_{\max} увеличивается до 50° . Максимальная скорость цели, при которой возможно ее обнаружение и сопровождение, $v_{y\max} = 8000$ км/ч. Для обеспечения высоких характеристик обнаружения высотомер и дальномер станции работают в разных диапазонах, в метровом и дециметровом соответственно. Условная цель с ЭПР 1 м^2 , летящая на высоте $H = 30$ км, может быть обнаружена на расстоянии до 430 км. Разрешающая способность по дальности ΔD_{\min} – до 500 м и по направлению на цель $\Delta_{\beta\min}$ и $\Delta_{\varepsilon\min}$ – до $5,4^\circ$. Среднеквадратическая ошибка по дальности для цели с ЭПР 1 м^2 равняется $\sigma_D = 80$ м, по азимуту $\Delta_{\beta} = 15'$ (минут). Производительность электронного оснащения позволяет одновременно вести до 200 трасс. Темп выдачи информации – 10 с.

РЛС «Небо-УМ» [23] – станция средних и больших высот дежурного режима, является дальнейшим развитием РЛС «Небо-У». РЛС «Небо-УМ» предназначена для обнаружения, измерения координат и сопровождения на дальности до 600 км воздушных целей различных категорий – от самолетов до крылатых и управляемых ракет, в том числе малоразмерных, гиперзвуковых, баллистических и малозаметных, изготовленных с использованием технологий «Стелс». РЛС способна одинаково эффективно обнаруживать и сопровождать как динамические (летательные аппараты и крылатые ракеты), так и баллистические цели (боевые блоки МБР). РЛС позволяет не только обнаруживать и сопровождать цели, но и определять их госпринадлежность, передавать информацию потребителям.

РЛС «Небо-УЕ» 55Ж6УЕ (экспортная версия «Небо-У» 55Ж6УЕ). В станции [25] применена крестообразная ФАР, горизонтальная часть которой является антенной дальномера, а вертикальная – антенной высотомера. ТТХ: диапазон волн – VHF/HF (метровый). Зона обнаружения и измерения трех координат цели типа «истребитель»: по дальности на высоте 500 м – 70; 3000 м – 170; 10 000 м – 310; 20 000 м и более – 400; по азимуту $\beta=360^\circ$; по высоте 70 км (при ε до 16°). Верхняя граница зоны обнаружения (без измерения высоты) при $\varepsilon > 16^\circ$: по $H = 20$ км; по $\varepsilon = 45^\circ$. Точность измерения координат цели С ЭОП 1,5

м²: дальности $\sigma_D=120$ м; азимута $\sigma_\beta = 12'$; высоты $\sigma_H=500$ м (при $\varepsilon > 1,5^\circ$). Количество одновременно сопровождаемых целей – 100. Темп обновления информации – 10 с. Дальность обнаружения и измерения координат «истребителя» (ЭПР-2,5м²), км, не менее: при высоте полета 500 м – 65; при Н полета 10000 м – 310; при Н полета 20000 м – 400. Дальность обнаружения и измерения координат гиперзвуковой крылатой ракеты (ЭПР-0,9м²), км, не менее: при Н полета 10000 м – 250; при Н полета 20000–50000 м – 300. Максимальный диапазон обнаружения и измерения координат по «истребителю», км: $D_{\max} = 700$; $H_{\max} = 70$. Производительность, трасс, не менее – 100. Темп выдачи данных, с, 10. Условия работы: температура окружающего воздуха, °С ± 50 ; относительная влажность воздуха при +25 °С, % – до 98; скорость ветра, м/с, 30; высота над уровнем моря, м, до 1000.

РЛС «Небо-СВ» 1Л13 – двухкоординатная мобильная версия станции «Небо» для СВ [26]. Дальность обнаружения цели типа «истребитель» на высоте 27 км – до 350 км; на высоте 500 м – до 60 км. Создана на базе РЛС «Небо» 55Ж6. В комплект станции входил радиолокационный запросчик системы свой-чужой со своей антенной. Для получения третьей координаты (высоты цели) станция сопрягалась с радиовысотометром. ТТХ: зона обзора: по азимуту $\beta = 360^\circ$; по углу места $\varepsilon =$ до 30° ; по дальности $D = 350$ км; по высоте $H = 40$ км. Измеряемые координаты – азимут, дальность. Способ обзора: круговой – по азимуту, секторный – по углу места. Темп обзора – 10 с. $D_{\text{обн}}$ целей типа МиГ-21 на высотах, км: 100 м – 25; 10000 м – 250; 27000 м – 350. Разрешающая способность: по дальности – 1000 м; по азимуту – 6° . Точность измерения: дальности – 600 м; азимута – 1° . Количество одновременно обрабатываемых целей – 30. Диапазон волн – метровый. Тип антенны – плоская эквидистантная решетка из 72-х излучателей типа «волновой канал». Мощность передатчика импульсная – 120 кВт. Ширина ДНА: по азимуту $\beta = 6^\circ$; по углу места $\varepsilon = 30^\circ$. Ограничения по условиям применения: максимально допустимая высота над уровнем моря – не более 3000 м; максимально допустимая скорость ветра, м/с: в рабочем положении РЛС – 20; в нерабочем положении РЛС – 50. Время наработки на отказ – 170 ч. Время восстановления, среднее, 45 мин.

Двухкоординатная РЛС дежурного режима «Небо-СВУ» 1Л119 обеспечивает [27] автоматическое обнаружение, измерение координат и сопровождение широкого класса современных ВЦ, включая БЦ и малозаметные цели, выполненные по технологии «Стелс»; определение госпринадлежности ВЦ; пеленгацию постановщиков активных шумовых помех (ПАШП); распознавание классов целей. ТТХ: диапазон волн – метровый. Антенна – АФАР. Дальность обнаружения воздушной цели типа «истребитель» (ЭОП=2,5 м²), км, не менее: при высоте полета 500 м – 60; при высоте полета 10000 м – 270; при высоте полета 20000 м – 360. Верхняя граница зоны обнаружения по высоте в режиме дежурного кругового обзора / сопровождения – 40/140 км. Точность измерения координат: по дальности $\Delta_D = 100$ м; по азимуту $\Delta_\beta = 20'$; по углу места (для углов более 5°) $\Delta_\varepsilon = 1,5^\circ$. Коэффициент подавления отражений от местных предметов, дБ, 45. Количество сопровождаемых целей – 100. Вид выходной информации – трассы. Период обновления данных, с, 20, 10 и 5.

Мобильная трехкоординатная РЛС дежурного режима «Небо-СВУ» предназначена для контроля воздушного пространства, обнаружения, определения координат и сопровождения широкого класса современных ВЦ [28]: самолетов стратегической и тактической авиации, малозаметных целей, в частности, выполненных по технологии «Стелс», распознавания классов целей, определения их госпринадлежности, пеленгации ПАШП. В станции реализованы: твердотельная АФАР с приемно-передающим модулем в каждом излучающем элементе, аналого-цифровым преобразованием эхо-сигналов в каждой строке и возможностью программного управления лучом ДНА в вертикальной плоскости для досопровождения БЦ; полностью цифровая пространственно-временная обработка сигналов; гибкая адаптация системы обработки сигналов к помеховой обстановке и техническому

состоянию станции; высокоэффективная цифровая селекция движущихся целей (СДЦ), обеспечивающая устойчивую проводку ВЦ при наличии интенсивных пассивных помех и гидрометеообразований; адаптивное подавление боковых лепестков ДНА. ТТХ: диапазон волн – метровый. Верхняя граница зоны обнаружения и измерения координат: по высоте, км, не менее 100 в режиме регулярного кругового обзора; не менее 180 в режиме досопровождения; по углу места, град., не менее 25 в режиме регулярного кругового обзора; 45–50 в режиме досопровождения. Дальность обнаружения аэродинамических целей и БЦ с ЭОП 1 м², км, на высоте 0,5 км – 65; на высоте 10 км – 270; на высоте 20 км – 380. Точность измерения координат: дальности $\Delta_D = 100$ м; азимута $\Delta_\beta = 20'$; угла места $\Delta_\epsilon = 1,5'$ (в диапазоне углов места от 3° до 45°). Вид выходной информации – трассы. Количество одновременно сопровождаемых целей – 100. Темп обновления информации, с, 10 и 5. Среднее время наработки на отказ, ч, не менее 500. Среднее время восстановления, ч, 0,5.

РЛС «Небо-М» (экспортная версия «Небо-МЕ») – межвидовой мобильный РЛК обнаружения аэродинамических целей и БЦ (объектов) на средних и больших высотах [29]. Комплекс выполнен в блочно-модульном исполнении: трехдиапазонный комплекс с отдельными РЛС сантиметрового (модификация РЛС «Гамма-С1»), дециметрового (модификация РЛС «Противник-Г») и метрового диапазонов (модификация РЛС «Небо-СВУ»). Новейшие РЛС «Небо-М» и «Небо-УМ» предназначены для обнаружения и анализа данных о гиперзвуковых и аэродинамических целях, в том числе малоразмерные и малозаметные аэродинамические и гиперзвуковые цели. Для определения точных координат целей система комплектуется отдельными РЛС сантиметрового, дециметрового и метрового диапазонов. Новейшие модификации РЛС семейства «Небо» включают радиолокационные модули: метрового диапазона в РЛС «Небо-СВУ», дециметрового диапазона в РЛС «Противник-Г» и сантиметрового диапазона в РЛС 64Л6 «Гамма-С1».

РЛС СТ-68 – подвижная трехкоординатная РЛС [30] предназначалась для обнаружения (опознавания) и сопровождения маловысотных (низколетящих) ЛО, в том числе стратегических КР типа АLCM, при воздействии организованных активных и пассивных помех, а также отражений от земной поверхности и метеообразований. По своему построению РЛС СТ-68 была многофункциональной станцией, в ней были использованы два активных и два пассивных канала, обеспечивающих радиолокационное обнаружение ЛО во всей зоне обзора в пределах 360°, обзора в пределах до 6° по углу места, пеленгацию ПАП и канал радиоразведки, для чего был использован сантиметровый диапазон. Вспомогательный канал СТ-68 работал в режиме квазинепрерывного излучения в существенно более коротковолновом диапазоне (порядка 3 см), что позволяло резко улучшить характеристики обнаружения под углами места ниже 1° и исключить интерференционные провалы в зоне обнаружения. Особенностью РЛС являлось наличие системы управления зоной обнаружения (ЗО) в двух плоскостях – по углу места 0–6° и по азимуту $\pm 30^\circ$ методом электронно-фазового сканирования, что позволяло замедлять обзор в секторах, пораженных помехами. В станции была применена штатная мобильная вышка, позволявшая поднимать фазовый центр основной антенной системы на высоту 25 м, что повышало характеристики обнаружения НЛЦ. В качестве антенной системы основного канала применялась полуактивная 72-канальная ФАР на основе волноводно-щелевых линеек, на каждую из которых замыкался одноканальный передатчик. Особенностью РЛС СТ-68 по сравнению с другими РЛС является наличие системы управления ЗО в двух плоскостях – по углу места от 0° до 6° и по азимуту $\pm 30^\circ$ методом электронно-фазового сканирования, что позволяло "замедлять" обзор в секторах, пораженных помехой. Это ставило СТ-68 в один ряд с РЛС, управляемыми в двух плоскостях. Модификации: СТ-68У, СТ-68УМ.

РЛС СТ-68УМ 5Н59 – трехкоординатная РЛС обнаружения НЛЦ сантиметрового диапазона радиоволн [31]. ТТХ: диапазон волн – сантиметровый. Дальность обнаружения при одновременном воздействии пассивных помех плотностью 0,3–0,5 пачки ДОС-ЩД-

51МУ на 100м пути и активных шумовых помех плотностью мощности 10 Вт/МГц, в вариантах комплектации с вышкой 40В6М (без вышки), км, самолета типа МиГ-21, на высоте 50 м – 33 (28); 100 м – 46(42); 500 – 6000 м – не менее 80; стратегической КР типа АLCM, на высоте 60 м – 32 (20); 100 – 3000 м – 40 (30). Дальность обнаружения при отсутствии организованных помех на фоне отражений от земной поверхности и метеообразований в вариантах комплектации с вышкой (без вышки), км, самолета типа МиГ-21, на высоте 50 м – 40 (31); 100 м – 51 (42); 500 м – 92 (82); 2000 – 18000 м – 147 (175); стратегической КР типа АLCM, на высоте 30 м – 27; 60 м – 40 (27); 100 м – 48 (33); 300 – 3000 м – 60. Минимальная радиальная скорость целей, км/ч, 60 – 180. Среднее время наработки на отказ, ч, 100.

РЛС «Противник-ГЕ» предназначена [32] для контроля воздушного пространства, обнаружения, определения координат и сопровождения самолетов стратегической и тактической авиации, авиационных ракет типа «Асальм», БЦ, малоразмерных малоскоростных ЛА, распознавания классов целей определения госпринадлежности, пеленгации ПАШП, выдачи РЛИ для наведения истребительной авиации и ЦУ потребителям. ТТХ: диапазон волн – метровый. Пределы работы: по дальности $D=10\div 400$ км; по высоте, км, до 200; по азимуту $\beta=360^\circ$; по углу места ε – до 45° ; по скорости, км/ч, 60–8000. Обнаружение цели с ЭОП $1,5\text{ м}^2$ на высоте 12 км: дальность – не менее 340 км; верхняя граница зоны обнаружения: по высоте – не менее 80 км; по углу места ε – до 45° . Точность измерения координат (цели с ЭОП $1,5\text{ м}^2$): дальности Δ_D – не хуже 100 м; азимута Δ_β – не хуже $12'$; угла места Δ_ε – не хуже $10'$. Разрешающая способность: по азимуту – не хуже $2,5^\circ$; по дальности – не хуже 450м. Коэффициент подавления отражений от местных предметов, дБ, не менее 50. Количество классов распознаваемых ЛА (по сигнальным и траекторным признакам) – 8. Количество одновременно сопровождаемых целей – не менее 150. Темп обновления данных, с, 5 и 10. Среднее время наработки на отказ, ч, не менее 600.

РЛС 80К6М – мобильная трехкоординатная РЛС кругового обзора [33] обеспечивает обнаружение, сопровождение и измерение трёх координат ЛО и их путевой скорости; определение госпринадлежности ЛО; определение угломестных и азимутальных перенгов на ПАП. ТТХ: диапазон длин волн – S. Количество частот – 6. Индикаторная дальность – 400 км. Количество режимов угломестного обзора – 2. Время переключения из режима в режим – не более 0,1с. Сектор обзора по углу места: в режиме 1 – $0\dots 35^\circ$; в режиме 1 – $0\dots 55^\circ$. Период обзора – 5, 10 с. Подавление отражений от местных предметов, дБ – >50 . Способ формирования лучей – цифровой. Количество лучей антенны – 12. Дальность обнаружения самолёта с ЭПР $3\text{--}5\text{ м}^2$, км (при вероятности правильного обнаружения $P=0,8$ и вероятности ложной тревоги $F=10^{-6}$); при высоте полёта 10 км – 200; при высоте полёта 100 м – 40. Средние квадратичные ошибки измерения координат в условиях отсутствия организованных помех: по дальности $\Delta_D=100$ м; по азимуту $\Delta_\beta=20'$; по высоте, в зоне на дальности до 10 км, м: в режиме 1–300; в режиме 1–400. Время восстановления, мин., 30. Время развёртывания, мин., 6.

РЛС «Каста-2-Е1» – мобильная маловысотная станция [34] предназначена для обнаружения, измерения дальности, азимута и определения госпринадлежности ЛО – самолетов, летящих и зависающих вертолетов, дистанционно пилотируемых ЛА и КР, в том числе действующих на малых и предельно малых высотах, на фоне интенсивных отражений от подстилающей поверхности, местных предметов и метеообразований. Обнаруживает цели, выполненные с применением технологии «Стелс», а также движущиеся объекты на поверхности воды. Станция может работать как со штатной антенной системой (высота подъема фазового центра около 7 м), так и с антенной на легкой перевозимой мачте высотой до 50 м. В составе станции имеется выносное рабочее место оператора для дистанционного управления с командного пункта, удаленного на 300 м. РЛС устойчиво работает

при температуре окружающего воздуха $\pm 50^{\circ}\text{C}$, относительной влажности воздуха до 98%, скорости ветра до 25 м/с. Высота размещения над уровнем моря – до 3000 м. ТТХ: Диапазон волн – дециметровый. Пределы работы: по дальности, км, $5\div 150$; по азимуту – 360° ; по высоте – до 6 км. Дальность обнаружения ЛО, летящих на высотах, км: 100 м: при высоте антенны 7 м – 32; при высоте антенны 50 м – 53; 1000 м: при высоте антенны 7 м – 95; при высоте антенны 50 м – 105. Точность измерения координат: дальности $\Delta_D = 450$ м; азимута $\Delta_{\beta} = 100'$. Разрешающая способность: по дальности – 450 м; по азимуту – 8° . Период обновления информации, с, 5 и 10. Коэффициент подавления отражений от местных предметов, дБ, 53. Среднее время, ч, наработки на отказ – не менее 300; восстановления – не более 0,5. Продолжительность непрерывной работы – не менее 20 суток.

РЛС «Каста-2-Е2» – маловысотная трехкоординатная РЛС кругового обзора дежурного режима [35] предназначена для контроля воздушного пространства, определения дальности, азимута, эшелона высоты полета и трассовых характеристик ЛО – самолетов, вертолетов, дистанционно пилотируемых ЛА и КР, в том числе летящих на малых и предельно малых высотах, на фоне интенсивных отражений от подстилающей поверхности, местных предметов и гидрометеорообразований. Антенная система формирует по основному радиолокационному каналу два луча с горизонтальной поляризацией: острый и косекансный, перекрывающие заданный сектор обзора. РЛС обеспечивает устойчивую работу при температуре окружающего воздуха $\pm 50^{\circ}\text{C}$, относительной влажности воздуха до 98%, скорости ветра до 25 м/с. Высота размещения над уровнем моря – до 3000 м. ТТХ: диапазон волн – дециметровый. Зона обзора: по дальности – 5–150 км; по азимуту – 360° ; по высоте – до 6 км. Дальность обнаружения целей с ЭПР 2 м^2 , км: при работе на штатную антенну высотой 14 м: $h_{ц} = 100$ м – 41; $h_{ц} = 1000$ м – 95; при работе с антенной на легкой перевозимой мачте высотой 50 м: $h_{ц} = 100$ м – 55; $h_{ц} = 1000$ м – 95. Дальность обнаружения целей с ЭПР $0,3\text{ м}^2$, летящих на высоте 60 м, км: при работе на штатную антенну – 30; при работе с антенной на легкой перевозимой мачте высотой 50 м – 44. Период обзора пространства – 5 с и 10. Вероятность проводки летательного объекта в организационных пассивных помехах плотностью 2,5 пачки на 100 м пути – не менее 0,9. Максимальное количество сопровождаемых целей (трасс) – 50. Дальность автоматической выдачи РЛИ по цифровым каналам сопряжения: по проводным линиям связи – до 15 км; по встроенному радиоканалу – до 50 км. Точность измерения координат: по дальности – 100 м; по азимуту, мин., 40; по высоте – 900 м. Нарботка на отказ, ч, 700. Время восстановления, мин., 30.

РЛС «Неман-П» сантиметрового диапазона [36] предназначена для обнаружения самолетов и одиночных БЦ на дальних рубежах. РЛС по своим техническим и конструктивно-технологическим решениям до сих пор является уникальной РЛС с информационными возможностями, обеспечивающими получение всего спектра характеристик наблюдаемых объектов, необходимых как для оценки эффективности перспективных средств преодоления ПРО, так и для отработки методов и алгоритмов селекции боевых блоков баллистических ракет на различных участках траектории их полета. Станция используется в качестве измерительного средства на противоракетном полигоне Сары-Шаган. В РЛС реализована передающая АФАР, состоящая из 960 рупорных излучателей с установленными в каждом канале усилителями на амплитронах. Диаметр апертуры составляет около 5 м. В станции «Неман-П» был реализован режим радиовидения.

РЛС «Резонанс-НЭ» предназначена [37] для дальнего обнаружения, сопровождения, определения координат (дальность, азимут, угол места) и параметров движения широкого класса современных и перспективных целей, включая КР и БР, гиперзвуковые летательные аппараты, в том числе изготовленные с применением технологии «Стелс». РЛС «Резонанс-НЭ» является когерентной РЛС кругового обзора метрового диапазона радиоволн с невращающейся ФАР. Для решения задач опознавания РЛС комплектуется наземным радио-запросчиком. РЛС всепогодна и может эксплуатироваться в различных климатических

зонах. Сохраняет работоспособность в интервале температур от $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$ в условиях атмосферных осадков и ветровых нагрузок до 50 м/с . ТТХ: диапазон волн – метровый. Зона наблюдения: по дальности $D = 10\text{--}1200\text{ км}$, по азимуту $\beta = 360^{\circ}$, по углу места $\varepsilon = 1,5^{\circ}\dots+80^{\circ}$ ($0^{\circ}\dots+80^{\circ}$), по высоте $H = 100\text{ км}$. Дальность обнаружения истребителя на высоте $10\ 000\text{ м} - 350\text{ км}$. Точность измерения координат, не хуже: по дальности $\Delta_D = 300\text{ м}$, по азимуту $\Delta_{\beta} = 1\text{--}1,5^{\circ}$, по углу места $\Delta_{\varepsilon} = 1,5^{\circ}$, по скорости $\Delta_v = 0,5\text{ м/с}$. Коэффициент подпомеховой видимости, дБ, 70. Темп обновления информации, с, 1–10. Количество сопровождаемых целей – до 500. Выдаваемая РЛИ – трассовая на фоне карты местности (района). Съём и передача данных: съём – автоматический и полуавтоматический, передача – через аппаратуру передачи данных по радиоканалу и проводным линиям. Среднее время восстановления, ч, 0,5.

РЛС секторного обзора «Имбирь» предназначена [38] для обнаружения и сопровождения баллистических оперативно-тактических, тактических и аэробаллистических ракет с высоким темпом сопровождения, обеспечивающим точное построение траекторий полета целей, а также обнаружения аэродинамических целей в сложных условиях. РЛС представляет собой мобильную трехкоординатную секторную РЛС программного обзора с высоким энергетическим потенциалом, электронным управлением лучом ДНА в двух плоскостях. ТТХ: зона обзора: по азимуту по аэродинамическим целям – 90° ; по БЦ – 60° ; по углу места: по аэродинамическим целям – $0\text{--}50^{\circ}$; по БЦ – $26\text{--}75^{\circ}$. Инструментальная дальность – 200 км . Период обзора, с, 12. Дальность обнаружения самолета-истребителя – $D = 230\text{ км}$. Максимальная скорость сопровождаемой цели, м/с, 4500. Максимальное количество сопровождаемых трасс – 16. Точность определения координат: по дальности $\Delta_D = 70\text{ м}$; по азимуту Δ_{β} и углу места $\Delta_{\varepsilon} = 10\text{--}12'$. Точность сопровождения трасс в прямоугольной системе координат – $15\text{--}40\text{ м}$. Разрешающая способность: по дальности $\Delta_{D_{\min}} = 230\text{ м}$; по азимуту $\Delta_{\beta_{\min}} = 1,5^{\circ}$; по углу места $\Delta_{\varepsilon_{\min}} = 0,8^{\circ}$. Время непрерывной работы – 48 ч.

РЛС кругового обзора «Обзор-3» 9С15М представляет собой [39] трехкоординатную когерентно-импульсную РЛС обнаружения сантиметрового диапазона волн с мгновенной перестройкой частоты, программным электронным управлением лучом ($1,5^{\circ}\times 1,5^{\circ}$) в угломестной плоскости, электрогидравлическим вращением антенны по азимуту и высокой пропускной способностью. В РЛС реализованы два режима кругового регулярного обзора воздушного пространства, используемые при обнаружении аэродинамических целей, а также БР типа 8К14 и ХМГ-М52С «Lance». В первом режиме зона обзора станции составляет 45° по углу места, инструментальная дальность обнаружения – 330 км , темп обзора – 12 с. Истребитель обнаруживается с вероятностью 0,5 на дальности 240 км . Во втором режиме зона обзора станции составляет 20° по углу места, инструментальная дальность – 150 км , темп обзора – 6 с. В этом режиме для обнаружения БР предусмотрена программа замедления вращения антенны по азимуту в секторе ПРО (в пределах 120°) и увеличения сектора обзора по углу места до 55° . При этом темп обновления информации составляет 9 с. Во втором режиме самолет-истребитель надежно обнаруживается в пределах всей инструментальной дальности, а дальность обнаружения БР типа 8К14 составляет не менее 115 км , типа ХМГ-М52С – не менее 95 км . РЛС обеспечивает выдачу в режиме автосъема данных до 250 отметок за период обзора, среди которых может быть до 200 целей. Среднеквадратические ошибки определения координат целей станцией составляют: по дальности Δ_D – не более 250 м , по углу места Δ_{ε} – не более $35'$, по азимуту Δ_{β} – не более $30'$. Разрешающая способность станции не хуже $\Delta_{D_{\min}} = 400\text{ м}$ по дальности и $1,5^{\circ}$ по угловым координатам.

К трёхкоординатным РЛС кругового обзора сантиметрового диапазона волн можно также отнести станцию 9С18 («Купол»).

МРЛК «Подлет-К1» (48Я6-К1) – мобильный маловысотный РЛК обнаружения аэродинамических и баллистических объектов [40]. Это трехкоординатная РЛС кругового обзора S-диапазона обнаружения и сопровождения целей на малых и предельно малых высотах в условиях естественных и поставленных помех обеспечивает автоматическое обнаружение, определение координат, захват и сопровождение любых аэродинамических целей, в том числе и малозаметных; определение госпринадлежности; выдача информации о целях внешним потребителям. ТТХ: диапазон частот излучения – сантиметровый. Количество одновременно обнаруживаемых целей – 200 (количество выдаваемых за обзор трасс). Дальность действия: 10–200 км, 10–300 км (дополнительный режим). Высота обнаружения целей максимальная $H_{\max} = 9$ км (10 км – дополнительный режим). Зона обнаружения: по азимуту – 360° , по углу места – от -2° до $+25^\circ$ (от -7° до $+12^\circ$ в дополнительном режиме). Скорость целей v_c – до 4400 км/ч. Точность измерения координат цели: по дальности $\Delta_D = 200$ м, по азимуту $\Delta_\beta = 1,6^\circ$. Период обзора пространства – 5 и 10 с.

РЛС «Истра» [41] обеспечивала одновременное обнаружение, сопровождение и определение траекторий 10–15 целей. ТТХ: тип антенны – полноповоротная крупногабаритная ФАР, состоящая из 8650 крупногабаритных излучателей. Диаметр антенны – 18 м/20 м (по другим данным). Диапазон – сантиметровый. Частота – 2 ГГц. Чувствительность приемного тракта РЛС – 10 в степени -13 ватт. Зондирующий сигнал с линейной частотной модуляцией, девиацией 10 МГц. Мощность передающего устройства – 120 МВт в импульсе. Зона обзора: по азимуту $\beta = 360^\circ$; по углу места $\varepsilon = 0 \div 90^\circ$. Дальность действия РЛС: $D_{\text{обн}} = 80 \div 2000$ км; 1500 км при ЭПР объекта 1 м^2 . Дальность обнаружения головной части МБР $D_{\text{обн}} = 1000$ км. Одновременное сопровождение – до 30 элементов сложной баллистической цели по одним и до 120 элементов СБЦ по другим данным. Разрешение РЛС по дальности $\Delta_{D_{\text{мин}}} = 30 \text{ м} / 60 \text{ м}$ («Аргунь-И»). Разрешение РЛС по угловым координатам – $40'$. Сектор электронного сканирования – 30° . Точностные характеристики: СКО измерения: дальности $\Delta_D = 3,6 \text{ м} / 15 \text{ м}$ (по другим данным); угловых координат – $3' / 5'$ (по другим данным).

РЛС П-90 «Памир» – помехозащищенная трехкоординатная (азимут, дальность, высота) РЛС обнаружения, сопровождения ВЦ и наведения истребительной авиации [42]. ТТХ: диапазон длин волн – дециметровый. Сектор обзора – 360 град. Высота обнаружения целей: минимальная – 100 м; максимальная – 50 км. Дальность обнаружения цели типа МиГ-17 на разных высотах полета цели: при высоте полета 100 м – 48 км; при высоте полета 500 м – 90 км (дальность определения высоты – 87 км); при высоте полета 3000 м – 225 км (дальность определения высоты – 209 км); при высоте полета 10000 м – 294 км (дальность определения высоты – 292 км). РЛС не используется с конца 1970-х годов.

РЛС «Воронеж» – семейство стационарных надгоризонтных РЛС большой дальности [43]. Это РЛС дальнего обнаружения СПРН и контроля КП. РЛС «Воронеж» предназначены для обнаружения БЦ в пределах зоны обзора РЛС; сопровождения и измерения координат обнаруженных целей и помехоносителей; вычисления параметров движения сопровождаемых целей по данным радиолокационных измерений; определения типа целей; выдачи информации о целевой и помеховой обстановке в автоматическом режиме другим потребителям. Семейство состоит из станций метрового («Воронеж-М», «Воронеж-ВП»), дециметрового («Воронеж-ДМ») и сантиметрового («Воронеж-СМ») диапазона волн. Длинноволновые станции обеспечивают высокую дальность обнаружения объектов, коротковолновые позволяют точнее определить параметры цели. РЛС состоит из приёмно-передающей установки с цифровой антенной решёткой, здания для личного состава и не-

скольких контейнеров с радиоэлектронным оборудованием. По своим ТТХ РЛС «Воронеж-ДМ» не уступает ныне действующим станциям типа «Дарьял» и «Днепр-М». При действующей дальности выявления целей 4,5 тыс. км она имеет техническую способность ее увеличения до 6 тыс. км. Модификации: «Воронеж-М» работает в метровом диапазоне волн. Дальность обнаружения целей до 6000 км. «Воронеж-ДМ» работает в дециметровом диапазоне, дальность – до 6 тыс. км по горизонту и до 8 тыс. км по вертикали (ближний космос). Способна одновременно контролировать до 500 объектов. «Воронеж-ВП» – развитие «Воронеж-М», высокопотенциальная РЛС метрового диапазона. «Воронеж-СМ» работает в сантиметровом диапазоне. РЛС «Воронеж-М» – малопотенциальная РЛС дальнего обнаружения СПРН метрового диапазона. ТТХ РЛС: дальность обнаружения целей до 6000 км. Диапазон – метровый. Сектор обзора: дальность $D = 100 \div 4200$ км; высота $H = 150 \div 4000$ км; угол места $\varepsilon = 2 \div 70^\circ$; азимут – $245 \div 355^\circ$. Наклонение орбит целей – $53 \div 127^\circ$. РЛС «Воронеж-ДМ» – среднепотенциальная РЛС дециметрового диапазона. ТТХ: диапазон – дециметровый. Сектор обзора: дальность $D = 2500/4000/6000$ км; $100 \div 4200$ км; 6000 км; высота – $150-4000$ км; угол места $\varepsilon = 2 \div 60^\circ$; азимут $\beta = 165 \div 295^\circ$. Наклонение орбит целей – $34,5 \div 145,5^\circ$. Количество одновременно сопровождаемых целей – 500. РЛС «Воронеж-ВП» – высокопотенциальная широкополосная РЛС сантиметрового диапазона радиоволн СПРН способна обнаружить крылатые ракеты на дальности в несколько тысяч км. Сектор обзора: дальность $D = 6000$ км.

РЛС «Всевысотный обнаружитель» предназначена для обнаружения и измерения координат (азимут, угол места, дальность) аэродинамических и БЦ на малых, средних и больших высотах [44]. РЛС автоматически выдает информацию о воздушной обстановке по широкому классу аэродинамических целей: самолетам, КР (в том числе изготовленным по технологии «Стелс») и средствам высокоточного оружия. ТТХ РЛС: диапазон частот излучения – «С». Диапазон дальностей обнаруживаемых целей: зона обзора: $D_{обз} = 5 \div 300$ км. А) В режиме всевысотного обнаружения: по β – 360° ; по ε (имеется возможность устанавливать нижнюю границу обзора до -3°) – от 0 до 20° ; по доплеровской скорости от ± 30 до ± 1200 м/с; темп обновления информации: в нижней зоне – от 0 до $1,5^\circ$ – 6 с; в верхней зоне – от $1,5^\circ$ – до 20° 12 с. Б) В режиме секторного обзора, в секторе замедления: по ε – от 0 до 60° ; по β – до 120° ; по доплеровской скорости – от ± 50 до ± 2800 м/с; время обзора сектора – до 8 с. Вне сектора замедления: по ε от -3 до $1,5^\circ$; время обзора нижнего сектора – 5,5 с. Полный цикл обзора – 13,5 с. В) В режиме низковысотного обнаружения: по β – 360° ; по ε – $0 \div 1,5^\circ$; по доплеровской скорости – от ± 30 до ± 1200 м/с; темп обзора β 6 с. Сопровождение трасс целей обеспечивается на углах места ε – до 60° . Количество сопровождаемых трасс целей – до 100. Время завязки трассы и выдачи ЦУ по аэродинамической цели: при $\varepsilon < 1,5^\circ$ – 12 с, при $\varepsilon > 1,5^\circ$ – 21 с. Количество ложных ЦУ за 30 мин. работы – не более 3–5. Сопровождение трасс целей обеспечивается на углах места ε до 60° . Количество сопровождаемых трасс целей – до 100. Время завязки трассы и выдачи ЦУ по аэродинамической цели: при $\varepsilon < 1,5^\circ$ – 12 с; при $\varepsilon > 1,5^\circ$ – 21 с. Количество ложных ЦУ за 30 мин. работы – не более 3–5.

4. Станции приема телеметрической информации

«МПРС» – наземная унифицированная малогабаритная станция приема ТМИ – многодиапазонная антенна для станции приема траекторной информации [45]. ТТХ: диаметр зеркала-3м; ЭПР-3м²; диапазоны частот – метровый (М1, М2, М3) и дециметровый (Д1, Д2 и Д4). Станция МПРС предназначена для приема и регистрации двух разночастотных потоков ТМИ с разнесением по поляризации бортовых аппаратов (БА) систем БРС-4, РТС-9, ВИМ, РТС-9Ц, БИТС-2, «Орбита ТМ» (ИТС-30), «Пирит», «Трал П2»; одноканального приема четырех потоков ТМИ с разнесением по частоте бортовой аппаратуры систем БРС-

4, РТС-9 ВИМ, РТС-9Ц, БИТС-2, «Орбита ТМ» (ИТС-30), «Пирит», «Трал П2». Рабочие диапазоны частот станции: М1, М2, М3, Д1, Д2 и Д4. Вид модуляции: время-импульсная модуляция (ВИМ), кодово-импульсная модуляция (КИМ)-частотная модуляция (ЧМ), КИМ – амплитудная модуляция (АМ)-ЧМ, двоичная фазовая модуляция (ФМ-2). ТТХ: рабочие информативности станции в зависимости от типа бортовой аппаратуры – от 2 кбит/с до 3,14Мбит/с. Станция обеспечивает совместную работу со штатными антенно-фидерными системами ИП (АФС, в том числе и с МШУ АФС) телеметрических комплексов «Изумруд», «Жемчуг-МС», ТНА-57У, Б-529, «Дельта», «Кедр».

«МПРС-ПМ» – наземная унифицированная малогабаритная станция приема ТМИ [46] – многодиапазонная антенна для станции приема ТМИ: диаметр зеркала – 3 м. Эффективная поверхность – 3 м². Диапазоны частот – метровый (М1, М2, М3) и дециметровый (Д1, Д2 и Д4). Станция МПРС предназначена для приема и регистрации двух разночастотных потоков ТМИ с разнесением по поляризации бортовых аппаратов систем БРС-4, РТС-9, ВИМ, РТС-9Ц, БИТС-2, «Орбита ТМ» (ИТС-30), «Пирит», «Трал П2»; одноканального приема четырех потоков ТМИ с разнесением по частоте БА систем БРС-4, РТС-9 ВИМ, РТС-9Ц, БИТС-2, «Орбита ТМ» (ИТС-30), «Пирит», «Трал П2». Рабочие диапазоны частот станции – М1, М2, М3, Д1, Д2 и Д4. Вид модуляции: ВИМ, КИМ-ЧМ, КИМ-АМ-ЧМ, ФМ2, нелинейная угловая манипуляция типа многопозиционной частотной модуляции (МЧМ). Помехоустойчивость: не хуже ФМ-2, узкий спектр, исключается неоднозначность. Объем доработок: вводятся 2 приемника-синхронизатора. Тип ввода ТМИ в ЦМВ: по USB 2,0. ТТХ: по ТУ+преимущества. Рабочие информативности станции в зависимости от типа БА – от 2 кбит/с до 6,28 (12,56) Мбит/с. Станция обеспечивает совместную работу со штатными антенно-фидерными системами ИП (АФС, в том числе и с малошумящим усилителем АФС) телеметрических комплексов ИП «Изумруд», «Жемчуг-МС», ТНА-57У, Б-529, «Дельта», «Кедр».

«МАС-3» – мобильная антенная система предназначена [47] для приема ТМИ с ЛА/КА. МАС-3 (без приборов системы наведения) рассчитана для работы на открытом воздухе и обеспечивает сохранение ТХ при следующих рабочих условиях эксплуатации: при температуре окружающей среды Т °С от –40 до +55; при относительной влажности воздуха до 100%. МАС-3 должна сохранять работоспособность при скорости воздушного потока до 20 м/с и быть в зафиксированном состоянии устойчивой к ветру со скоростью воздушного потока до 30 м/с. Аппаратура системы наведения рассчитана на эксплуатацию в технических зданиях при температуре воздуха Т °С от +5 до +40 и относительной влажности не более (80±3)% при Т °С +25±3. ТТХ МАС-3: максимальная скорость поворота антенны 20°/с. Диапазон поворота: по азимуту ± 270°; по углу места – 180°.

5. СТИ на основе спутниковых навигационных систем

В настоящее время при летных испытаниях АТ используются [48] СВТИ на основе спутниковых навигационных систем NAVSTAR (GPS), ГЛОНАСС: система бортовых траекторных измерений СБТИ-10В, комплекс бортовых траекторных измерений КБТИ-М, СТИ «Верхушка-13А», «Верхушка-13Б».

СБТИ-10В является средством измерения уточненных координат и скоростей ЛА по данным СНС GPS [48] на основе дифференциального метода измерения и обработки измерительной информации (ИИ). Система СБТИ-10В предназначена для определения эталонных значений плановых координат, высоты, составляющих скорости движения и путевого угла ЛА в режиме слепополетной обработки ИИ. Обработка ИИ в слепополетном режиме выполняется по данным измерений бортового и наземного (опорного) приемника СНС. В результате обработки ИИ на каждый заданный момент T формируются следующие траекторные параметры (ТП): время T ; геодезические координаты (φ , λ) и высота (H) ЛА в любой заданной системе координат (СК-42, ПЗ-90, WGS-84); геоцентрические прямоуголь-

ные координаты (X, Y, Z) ; северная, восточная и вертикальная составляющие путевой скорости (V_n, V_e, V_h) ; составляющие скорости по осям топоцентрических прямоугольных координат (V_x, V_y, V_z) ; путевой угол [48]. Предельная оценка погрешности определения параметров местоположения и скорости ЛА в дифференциальном режиме (ДР) составляет: при определении координат ЛА ≤ 10 м; при определении составляющих скорости $\leq 0,2$ м/с; при определении путевого угла $\leq 5'$. Диапазон производимых ТИ: высота полета ≤ 15000 м; путевая скорость ≤ 230 м/с; число М до 1,25; вертикальная скорость ± 30 м/с; угол курса $0^\circ \div 360^\circ$; угол скольжения $-11^\circ \div 15^\circ$; угол атаки $-2^\circ \div 14^\circ$; крен $\pm 60^\circ$; тангаж $\pm 10^\circ$; перегрузка до 2g. Интервальная оценка погрешности определения параметров местоположения ΔA в ДР с $P = 0,95$: $\Delta_x = 7,5$ м; $\Delta_y = 9,9$ м; $\Delta_z = 7,7$ м; $\Delta V_x = 0,16$ м/с; $\Delta V_y = 0,34$ м/с; $\Delta V_z = 0,18$ м/с.

КБТИ-М – комплекс бортовых ТИ [48] предназначен для определения пространственного положения и траекторных перемещений ЛА на основе комплексной обработки данных СНС и инерциальной навигационной системы (ИНС). Комплекс при взаимодействии с бортовой ИНС в режиме слепополетной обработки обеспечивает формирование на каждый заданный момент времени действительных значений следующих ТП: геодезических координат местоположения широты, долготы и высоты (φ, λ, H) в системах координат СК-42 или WGS-84; прямоугольных координат в топоцентрической системе координат (X, Y, Z) ; составляющих вектора скорости (V_x, V_y, V_z) ; истинный курс полета (ψ) ; гринвичское время. Комплекс обеспечивает определение параметров на основе комплексной обработки информации (КОИ) от ИНС и СНС или по данным СНС, работающей в дифференциальном (ДР) или стандартном (СР) режиме. В результате КОИ СНС и систем прицельно-навигационного оборудования (ПНО) предельная оценка погрешности определения параметров местоположения $(M + 2\sigma)$ для $P=0,95$ при полете ЛА составляет координаты в СР работы: $\Delta_x=10,2$ м; $\Delta_y=13,4$ м; $\Delta_z = 10,0$ м; координаты в ДР работы: $\Delta_x = 7,4$ м; $\Delta_y = 9,6$ м; $\Delta_z=9,3$ м; координаты в ДР (без КОИ) $\Delta_x = 7,1$ м; $\Delta_y = 7,0$ м; $\Delta_z = 8,0$ м; скорости в ДР работы: $V_x=0,1$ м/с; $V_y=0,2$ м/с; $V_z=0,14$ м/с; на маневренных режимах ЛА в диапазоне изменения параметров: угол сноса от -11 до $+15^\circ$; угол атаки от -2 до $+4^\circ$; крен от -7° до $+7^\circ$; тангаж от -3° до $+3^\circ$; координаты в ДР работы: $\Delta_x=8,8$ м; $\Delta_y=6,7$ м; $\Delta_z=6,7$ м; скорости при потере ДР $\Delta V_x=0,96$ м/с; $\Delta V_y=0,9$ м/с; $\Delta V_z=0,87$ м/с. КБТИ-М обеспечивает определение ТП при высоте до 18000 м; скорости до 500 м/с; крене до $\pm 18^\circ$; тангаже от -3° до $+8^\circ$; угле сноса от -11 до $+15^\circ$; угле атаки от -2 до $+14^\circ$; перегрузке до 4,6 g; вертикальной скорости от $+100$ до $+200$ м/с; угле курса от 0 до 36° . Диапазон производимых ТИ: высота полета ≤ 15000 м; путевая скорость ≤ 500 м/с; число М до 1,7; вертикальная скорость $-100 \div 200$ м/с; угол курса $0^\circ \div 360^\circ$; угол скольжения $-11^\circ \div 15^\circ$; угол атаки $-2^\circ \div 14^\circ$; крен $\pm 180^\circ$; тангаж $-30^\circ \div 80^\circ$; перегрузка до 4g. В ДР работы СНС погрешность определения параметров местоположения ΔA с $P=0,95$; $\Delta_x = 7,1$; $\Delta_y=6,9$; $\Delta_z=7,9$; $\Delta V_x=0,12$; $\Delta V_y=0,20$; $\Delta V_z=0,14$. Данные комплекса могут быть использованы для оценки характеристик ЛА и его прицельно-навигационного оборудования.

«Верхушка-13А – СТИ [48] предназначена для измерения координат и составляющих скорости ЛА в ДР с привязкой результатов измерений к стандартным шкалам времени. Определение ТП ЛА производится с использованием сигналов СНС NAVSTAR. Система функционирует в режимах обработки ИИ, поступающей по каналам РТС «Орбита-ТМ» в РМВ; слепополетной обработки ИИ, воспроизводимой с бортовых накопителей «Гамма-1101», «Регата», «Тн1Пк», или с магнитной ленты магнитофона РТС «Орбита-ТМ»; оценки взлетно-посадочных характеристик ЛА совместно с системой бортовых измерений. Количество обрабатываемых объектов в сеансе измерений: в РМВ – 1 объект, что обусловлено техническими возможностями РТС «Орбита-ТМ»; в режиме слепополетной обработки ИИ – определяется числом сеансов записи на бортовой накопитель. СТИ «Вер-

хушка-13А» обеспечивает определение ТП: в диапазоне высот ≤ 18000 м; при скоростях ≤ 500 м/с; при ускорениях $\leq 4g$; при углах крена и тангажа от -45° до $+45^\circ$. Диапазон производимых ТИ: высота полета 18000 м; путевая скорость 540 м/с; число М до 1,7; вертикальная скорость – $80 \div 180$ м/с; угол курса $0^\circ \div 360^\circ$; угол скольжения $-12^\circ \div 16^\circ$; угол атаки – $2^\circ \div 14^\circ$; крен $\pm 30^\circ$; тангаж $\pm 30^\circ$; перегрузка до 4g.

СТИ «Верхушка-13Б» предназначена [48] для обеспечения испытаний перспективных образцов ЛА/ЛО на НИИП, а также на слабооборудованных и необорудованных трассах. Она обеспечивает формирование координатно-временной информации и передачу ее на бортовой накопитель или в радиоканал передачи данных с борта ЛА на мобильный измерительный пункт (МИП), а также приема команд радиуправления от МИП. Определение ТП ЛА/ЛО производится с использованием сигналов СНС ГЛОНАСС и GPS. СТИ «Верхушка-13Б» обеспечивает измерение трех координат и трех составляющих скорости испытуемых объектов в дифференциальном и абсолютном режимах с привязкой результатов к времени. Предельная погрешность определения координат и модуля скорости в дифференциальном кодовом режиме: по плановым координатам 4 м; по высоте 6 м; по модулю вектора скорости 0,15 м/с. Предельная погрешность определения координат в абсолютном режиме не более 30 м. СТИ «Верхушка-13Б» обеспечивает определение ТП: при скоростях ЛА от 0 до 6000 м/с; в диапазоне высот $0 \div 300\,000$ м; при ускорениях (кратковременно от 2 до 10 с) до 10g; при углах крена $\pm 90^\circ$; при углах тангажа $\pm 90^\circ$. ТТХ [48]: Диапазон производимых ТИ: по скорости $0 \div 6000$ м/с; по высоте $0 \div 30\,000$ м; по ускорению (кратковременно $2 \div 10$ с) – до 10g; при углах крена $\pm 90^\circ$; при углах тангажа $\pm 90^\circ$. Предельная погрешность определения координат в дифференциальном режиме с $P=0,95$: $\Delta_x, \Delta_z=4$ м; $\Delta_y=6$ м. Предельная погрешность определения модуля скорости в дифференциальном режиме с $P=0,95$: $|\Delta V|=0,15$ м/с.

РТС «Вега» предназначена [49] для высокоточных ТИ наклонной дальности, радиальной скорости, разности расстояний до двух пар антенн и скорости изменения разности расстояний по одному каналу (объекту). Высокоточные фазометрические системы траекторных измерений типа «Вега» изготавливались в нескольких модификациях: «Вега», «Вега-А», «Вега-АП», «Вега-Н(К)», «Вега-НО (КО)». ТТХ: дальность действия – до 2500 км. Рабочий диапазон длин волн – 3,9 см. Измеряемые параметры: наклонная дальность; радиальная скорость; два направляющих косинуса относительно двух взаимно перпендикулярных базисов; скорость изменения направляющих косинусов. Темп выдачи данных – не реже 0,25 с. Длина измерительных базисов для измерения направляющих косинусов – 660 м. Длина измерительных базисов для измерения скорости изменения направляющих косинусов – 12 000 м. Число одновременно сопровождающих объектов – до 5.

6. Фазовые пеленгаторы

ФП «Иртыш» (станция «Иртыш») – внешнетраекторная подвижная фазометрическая радиоугломерная станция рассчитана на работу по сигналам в дециметровом диапазоне волн [50]. При испытаниях ракеты Р-7 ФП «Иртыш» работала в диапазоне 50 см в непрерывном режиме по бортовому устройству (излучателю) «Факел-Д». Впоследствии бортовой маяк «Факел-Д» был заменен на модернизированный «Факел-М». Антенное поле станции состояло из 9-ти дециметровых рупорных антенн (центральная антенна и два «креста» из антенн: большой и малый), размещенных стационарно на земле на подставках. Наиболее точно определял направляющие косинусы углов. Значительной роли в измерениях не сыграл, так же, как и «Иртыш-Д», и был снят с измерений. ФП «Иртыш» с высокой точностью обеспечивали измерение угловых координат и угловых скоростей линии визирования объекта измерения, на котором устанавливался излучатель, работающий в непрерывном режиме излучения при небольшом уровне мощности. Станция «Иртыш» была разработана с целью обеспечения повышенной точности ТИ при отработке ракеты Р7, использовалась

при ее обработке и при запуске третьего «научного» ИСЗ. Станциями «Иртыш» было оснащено большинство ИП КИК. Станции «Иртыш» были всенаправленными в пределах от 2π по азимуту и $\pm\pi/2$ по углу места, не требовали наведения и в этих пределах измеряли на дальностях до 3000 км угловые координаты с погрешностью 10–4 радиан и угловые скорости в пределах 10–5 радиан/с. Несмотря на своё достоинство – точность измерений, станции «Иртыш» и «Иртыш-Д» значительной роли в ТИ не сыграли и были сняты с измерений. ФП «Иртыш» и РЛС «Бинокль» составляли первую систему ТИ в ПИКе Байконура и КИКе.

ФП «Висла-М» – двухканальный ФП, предназначенный для измерения параметров движения воздушно-космических объектов [51].

7. Корреляционно-фазовые пеленгаторы

Корреляционно-фазовые пеленгаторы (КФП) – антенные станции для всепогодной высокоточной пеленгации спутников, траекторных навигационных параметров, орбитально-частотного мониторинга КА и разгонных блоков (РБ). Комплексы с большой точностью (до нескольких угловых секунд) позволяют определять угловые параметры (угол места и азимут) движения КА на орбитах от 200 до 40 000 км. Условно работу системы можно назвать «GPS наоборот». При решении задачи глобального позиционирования в некоторой точке система принимает сигнал от нескольких спутников, разнесённых в пространстве. Совместная обработка сигналов позволяет определить координаты точки. В КФП сигнал от одного спутника принимается на пять разнесённых приёмных антенн, и совместная обработка сигналов позволяет определить направление на объект.

КФП «Ритм» предназначен для высокоточного измерения угловых координат при работе с сигналами любых КО в пределах околоземного КП [52]. КФП «Ритм» осуществляет измерение текущих угловых координат источника излучения с точностью до 10 угловых секунд; оперативную оценку шестимерного вектора состояния ИСЗ; определение спектральных характеристик сигнала и их изменение со временем; оценку параметров излучения бортовой антенны. КФП «Ритм» обеспечивает поиск источника сигнала в любой заданной области пространства в верхней полусфере и в любой заданной частотной области S-диапазона; точные ТИ без установки на борт какой-либо аппаратуры; отображение трассы полета сопровождаемого КА; выдачу потребителям результатов измерений в темпе реального времени по каналам связи. Основные ТТХ: диапазон частот: 1–4 ГГц; полоса пропускания: 0,1–3,5 МГц; минимальный уровень рабочего сигнала: $10\div 21\text{Вт/м}^2$ Гц; динамический диапазон: >50 Дб; такт выдачи независимых измерений: ≤ 5 изм./с; точность угловых измерений: 2×10^{-5} ; точность привязки к единому времени: <1 мс.

Современный КФП «Ритм» представляет собой всепогодную 5-антенную РТС с двумя взаимно перпендикулярными измерительными базами (длина базы 50 м), рассчитанную на разнесённый приём сигналов, излучаемых пеленгуемыми КА и не требующую установки на КА какой-либо дополнительной бортовой аппаратуры. Фазометрическая информация извлекается практически из любых непрерывных сигналов, излучаемых КА в диапазоне частот 1–8,5 ГГц, и используется для определения текущих навигационных параметров излучающего объекта, находящегося на высоте до 70 000 км. При этом точность определения направления на цель (угол места ε и азимут β) определяется угловыми секундами.

КФП «Ритм-М» – многофункциональный РТК [53] получения координатной и некоординатной информации по КА и РБ. Комплекс предназначен для всепогодного высокоточного проведения измерений текущих навигационных параметров (координатной информации: угла места ε и азимута β) КА и РБ и проведения орбитально-частотного мониторинга излучаемых КА (некоординатная информация – спектральные характеристики излу-

чения КА). КФП «Ритм – М» может работать по любому непрерывному радиосигналу, излучаемому РБ или КА в диапазоне от 1 до 8,5 ГГц, в пределах высот $H=300\div 40\ 000$ км. (при доработке имеется возможность работы в пределах высот до 380 000 км). Диапазон частот: 1–8,5 ГГц; количество антенных систем 5 шт.; диаметр зеркала антенн 3,1 м; длина базы 50 м; предельная точность измерения угловых координат по случайной ошибке: 2" (угловых секунды); предельная точность измерения угловых координат по систематической ошибке: 4–6"; зона обзора по азимуту $\beta = 0\pm 270^\circ$; зона обзора по углу места $\varepsilon = 5-87^\circ$; наведение антенн: синхронное/индивидуальное; управление: ручное с участием оператора /автоматизированное; поиск по частоте; расширение диапазона; передача данных (протокол); FTP, Ethernet, в режиме онлайн и т.д.; каталогизация, архивация, база КО, автоматическое обновление, баллистическая обработка, геодезическая привязка; автоматизированный учет смещения рабочей точки антенн.

8. Радиотехнические комплексы

Комплекс «ВТИ-ЛА» – комплекс ВТИ ЛА [54] предназначен для измерения положения ЛА – траектории полета (ракет, реактивных снарядов) при отработке и проведении испытаний систем управления ЛА по излучению бортовых радиосредств. Измеряемые характеристики: азимут, угол места, их производные (скорость вращения и перемещения ЛА). Погрешность измерения угловых координат – $0,02^\circ$. Погрешность определения дальности зависит от точки взаимной привязки измерительных позиций (ИзП). В зависимости от требуемой зоны наблюдения (азимут, угол места, дальность), количества и качества измеряемых параметров наземный комплекс может состоять из нескольких ИзП, включающих два измерителя угловых направлений, центра обработки информации и модулей системы сбора данных. Комплекс «ВТИ-ЛА» обеспечивает контроль положения ЛА по излучению радиомаяка с выходной мощностью не менее 1Вт в диапазоне частот $9,2\div 9,4$ ГГц и определение параметров их движения по дистанции на активном участке траектории в зоне прямой радиовидимости (35 км). ТТХ: сектор наблюдения одной ИзП $\pm 45^\circ$. Частота измерения, Гц, $10\div 400$. Тип измерителя: пеленгатор-интерферометр. Количество сопровождаемых ЛА – до 3. Сектор измерения: по пеленгу – 90° ; по углу места – 70° . Среднеквадратические ошибки измерений текущих координат прямолинейно и равномерно движущихся целей составляют по всему сектору контроля не более: положение декартовых координат – 3...5 м; по угловым координатам – $0,02 - 0,05^\circ$. Комплекс «ВТИ-ЛА» по назначению соответствует РЛС «Кама-Н». Отличие – в «ВТИ-ЛА» может отсутствовать активный канал.

РТК «Плутон» предназначен для управления КА и приема с них информации по программе «Венера-Марс» с целью исследования планет солнечной системы [55]. РТК создан на базе антенных систем АДУ-1000 (антенны дальнего участка с эффективной поверхностью 1000 м^2). Одна из трех антенных систем обеспечивала передачу информации (команд управления) на борт КА при помощи передающего устройства мощностью $P=120$ кВт в диапазоне волн 39 см, две других осуществляли прием информации с КА в диапазоне 32 см с использованием маломощных (параметрических) приемных устройств. Дальность действия комплекса – до 300 млн км. РТС комплекса обеспечивали выдачу команд на КА; проведение ТИ (дальность и радиальная скорость); прием и расшифровку ТМИ. В 1962 году «Плутон» был модернизирован. На нём была установлена аппаратура приёма научной информации в сантиметровом диапазоне. После модернизации эффективная площадь антенны в ДМ-диапазоне волн составила 650 м^2 , в СМ – 450 м^2 . Дальность связи АДУ-1000 – 300 млн км. Скорость передачи научной информации составляла до 3 кбит/с при приёме телеметрии и до 6 кбит/с при приёме изображений. На смену комплексу «Плутон» пришел РТК «Квант-Д» на основе высокоэффективной антенной системы П-2500 (РТ-70).

Наземный РТК «Квант-Д» [56] с уникальной высокоэффективной антенной П-2500 диаметром 70 м (радиотелескоп РТ-70), двумя взаимодополняемыми радиолиниями (РЛ)

дециметрового и сантиметрового диапазонов (введен в эксплуатацию в г. Евпатория в 1980 г. и в г. Усурийск – в 1985 г.). Мощность передатчиков в обоих диапазонах составляла $P = 200$ кВт, суммарная шумовая температура приемных устройств комплекса (в сантиметровом диапазоне) составляла 23К благодаря использованию малошумящих лазерных усилителей. Были резко увеличены точность ТИ (по дальности – до 20 м, по скорости – до 2 мм/с) и скорость принимаемой научной информации (до 131 кбит/с). В НРТК «Квант-Д» совместно с бортовой радиосистемой реализованы следующие точности ТИ: по дальности при точной частоте=30 кГц погрешность <100 м; точной частоте=300 кГц погрешность <20 м; точной частоте=1200 кГц погрешность <10 м; по скорости погрешность < 2 мм/с. Систематические погрешности при измерении дальности имеют тот же порядок, что и случайные. Систематические погрешности при измерении радиальной скорости не превышают значения 0,2 мм/с. Указанные точности приведены для сантиметрового диапазона. В дециметровом диапазоне комплекс имеет худшие точности ТИ. Диапазон частот на передачу, ГГц, 0,77; 5,0. Диапазон частот на прием, ГГц, 0,92; 6,0.

Наземный РТК «Сатурн-МС» [57] – многофункциональный комплекс «Сатурн-МС» для одновременного и независимого управления несколькими космическими аппаратами лунной экспедиции введен в эксплуатацию в 1967 году в Евпаторийском центре (Крым). Три мощные приемные антенны КТНА-200 (эффективная площадь 200 м²) и передающая антенна П-400 позволили значительно повысить энергетический потенциал РЛ за счет сложения сигналов от трех антенн. Комплекс обеспечивал выдачу разовых команд и программ на борт космического аппарата, возможность получать ТМИ, измерять параметры движения космического аппарата, вести телефонные переговоры и получать телевизионное изображение с борта космического аппарата. РТК «Сатурн-МС» до 1975 года продолжал успешно управлять орбитальными КА с космонавтами на борту, а также в программе исследования Луны автоматическими станциями. РТС «Квант-П» [57] пришла на замену РТК «Сатурн-МС». Она выполняла те же функции, что и «Сатурн-МС», но была создана на новой элементной базе со значительно лучшими характеристиками.

Наземный РТК «Сатурн МСД» [58] имел две радиолинии: работающую в ДМ-диапазоне когерентную, используемую для управления КА, и работающую в СМ-диапазоне, некогерентную, используемую для приема научной информации. Частота запросного канала 770 МГц, частота ответных каналов: дециметрового 920 МГц, сантиметрового 5100 МГц. Для обеспечения высокого энергетического потенциала ответных РЛ в составе комплекса использовалась высокоэффективная приемная антенна П400 с диаметром зеркала 32 м и эффективной площадью 400 м². Передающая антенна П200П имела диаметр зеркала 25 м, передатчик «Гарпун» имел мощность 80 кВт. Реализованные точности ТИ составили: по скорости ± 5 мм/с, по дальности ± 100 м. При передаче ТМИ по дециметровому каналу использовались ортогональные коды. Скорость приема ТМИ по этому каналу была доведена до 400 бит/с. Сантиметровый канал работал в импульсном режиме. Для передачи по этому каналу научной цифровой и фототелевизионной информации использовалась время-импульсная модуляция (ВИМ). Скорость передачи цифровой ТМИ – 3072 бит/с. При передаче фототелевизионных изображений скорость цифровой информации – 6,144 бит/с.

9. Телеметрическая аппаратура

Телеметрическими станциями/системами (ТМС) оборудованы стартовые комплексы космодромов Байконур и Плесецк для контроля и анализа функционирования бортового оборудования на РКТ путем получения достоверных и точных данных от датчиков различного типа.

ТМС «Источник-М» [59] – телеметрическая станция «Источник» предназначена для одновременного приема, демодуляции, регистрации, декоммутации, документирования и

выдачи внешним потребителям потоков ТМИ от антенно-фидерных устройств (АФУ) ИП, стартовых комплексов и при проведении тестовых проверок систем телеизмерений КА/КО). ТМС обеспечивает: 1) совместную работу с АФУ телеметрических комплексов (ТМК) «Изумруд», «Жемчуг-МС», «ГНА-57У», «Дельта», «Кедр» и др.; 2) одновременный прием и регистрацию от 2-х до 8-ми потоков ТМИ в диапазоне 120–250 МГц следующих БРТС: «Скут» с информативностью 640 тыс. изм/с – в виде двух потоков; 320 тыс. изм/с; «Сириус» с информативностью 320 тыс.изм/с; «Пирит» с информативностью 32, 64, 128, 256, 512, 1024 кбит/с; «Орбита-IVTM» с информативностью от 196608 до 3145728 бит/с; РТС-9 КИМ-Ц с информативностью 32, 64, 128, 256, 512 кбит/с; РТСЦ-М2 с информативностью 512, 1024 кбит/с; РТС-9 ВИМ с информативностью 32, 64, 128, 256 кбит/с; РТС-9Ц с информативностью от 2 до 1024 кбит/с; БИТС-2 с информативностью от 2 до 1024 кбит/с; 3) прием радиосигналов на различных частотах телеметрических диапазонов М1, М2, М3 (Д1, Д2, Д4) при использовании соответствующего конвертера); 4) возможность одновременной регистрации ТМИ разных телеметрических (ТМ) структур.

Функции ТМС: прием и регистрация до 8-ми потоков всех существующих ТМ структур; одновременная регистрация ТМИ различных ТМ структур; передача как обработанной информации, так и в формате «непосредственная запись» по Ethernet; формирование сигналов автономного времени и привязка регистрируемой информации к сигналам единого времени; регистрация служебной информации о работе станции. ТТХ: Приём радиосигналов в диапазонах частот (при использовании конверторов), МГц – 125 ... 250; 625 ... 650; 950 ... 1050; 2200 ... 2300. Безнастроечное вхождение в синхронизацию при отклонениях несущей частоты от номинальных значений, МГц, до 1. Динамический диапазон входного сигнала по напряжению, дБ, не менее 90. Время вхождения в связь – не более 30 мс. Время восстановления приема после кратковременных пропаданий радиосигнала – не более 20 мс. Избирательность: по соседнему каналу – более 60 дБ; по зеркальному каналу, дБ, более 60. Максимальный уровень входного сигнала – 3В. Чувствительность S не хуже 30 мкВ на входе ТМС и не хуже 10 мкВ с учетом входных устройств антенной системы при вероятности ошибки приема информации на символ не более $10^5 - 10^6$ для цифровых БРТС (РТС-9Ц, РТСЦ-М), «Пирит», «БИТС-2», «Орбита-IVTM» и др. Чувствительность (для аналоговой БРТС) при величине шумов и взаимовлияний по каждому каналу S не более 5%, мкВ, не хуже 30. На данный момент ТМС «Источник» установлены на космодроме Байконур.

Антенный комплекс «Изумруд» предназначен для приема высокочастотных радиосигналов горизонтальной и вертикальной поляризации в метровом диапазоне частот, их предварительного усиления и передачи на приемно-регистрирующую аппаратуру (ПРА) БРС-4М, ПРА-МК, «Опал». Антенные комплексы «Жемчуг-М», «Жемчуг-МС», «Жемчуг – МП» предназначены для приема радиосигналов в метровом и дециметровом диапазонах частот, их предварительного усиления и передачи на ПРА БРС-4М, ПРА-МК, «Опал». Аппаратура приема, регистрации и информационного контроля телеметрической информации «Опал-М» позволяет в различных вариантах комплектации обеспечивать проведение тестовых проверок систем телеизмерений и изделий РКТ в условиях контрольно-испытательных станций заводов-изготовителей; прием, регистрацию и оперативное представление ТМИ на технических и стартовых позициях испытательных полигонов.

БРС-4 – телеметрическая система приема и регистрации быстро меняющихся параметров [45]. Штатная антенна наземной БРС-4 – двухспиральная. Зеркало рефлектора – дюралевая перфорированная пластина размером примерно 2x1 м. Длина спиралей – около 1 м. Система БРС-4 позволяла одновременно обеспечивать измерение быстрых (случайных) и медленно меняющихся процессов и передавать контрольную информацию бортовой ЦВМ системы управления. ТМС БРС-4 позволяла получать полный объем информации с высокой степенью надёжности в сложных условиях воздействия дестабилизирую-

щих факторов, в том числе на участках плазмообразования. Характерная особенность систем БРС-4 – возможность получения информации о так называемых быстроменяющихся процессах вибрации, перегрузки и т.п., дополнительно к информации о медленноменяющихся параметрах и различного рода управляющих сигналах и командах. ТХ: Частота опроса – $50 \div 8000$ Гц. Дальность действия $D = 5800$ км. Ограничения по углам: азимут $\beta = 0-360^\circ$, угол места $\varepsilon = 0-85^\circ$. Погрешность измерения параметров, %, 1–2. Количество каналов – 2048. Тип модуляции – АИМ. В 1989 году были развёрнуты станции БРС-4М, БРС-4МК.

РТС-5 [45] – РТС измерения быстроменяющихся параметров имела 2 рабочих частоты в диапазоне 40-60 МГц при широтно-импульсной и частотной модуляции, 8 измерительных каналов по 6250 опросов каждый. Регистрация велась с электронно-лучевой трубки фотоблока на киноплёнку типа А-2, заправленную в стандартную приемо-подающую кассету КИНАП ёмкостью 300 м на скорости 200 мм/с. Точность измерения параметров – 5%. Антенна представляла собой директорную антенну круговой поляризации со взаимно перпендикулярными вибраторами из трубок, запитанными в турникет, и такими же рефлектором и двумя директорами. Эффективная поверхность антенны 20 м^2 , чувствительность приемника $S = 10 \text{ мкВ}$, дальность D – до 2000 км.

РТС-9. Система РТС-9 была представлена на противоракетном полигоне Сары-Шаган приемно-регистрирующими станциями МА-9МСТ, которые служили для предстартовой проверки телеметрического бортового оборудования ракет и регистрации информации в процессе полёта. В последующем станции МА-9МСТ были заменены на более совершенные станции МА-9 МК. Основные ТТХ: частота опроса – 50–200 Гц. Дальность действия – 3200 км. Ограничения по углам: азимут $\beta = 0 \div 360^\circ$, угол места $\varepsilon = 0 \div 85^\circ$. Погрешность измерения параметров – $1 \div 3\%$. Количество каналов – 385. Тип модуляции – КИМ.

«Орбита-ТМ» [45] – многоцелевая высокоинформативная радиотелеметрическая система. Основные ТТХ: частота опроса – 4 Гц, 128 Гц, 16 кГц. Дальность действия $D_{\text{обз}} = 5800$ км. Ограничения по углам, град: азимут $\beta = 0-360^\circ$, угол места $\varepsilon = 0-85^\circ$. Погрешность измерения параметров, %, 1. Количество каналов – 2048. Тип модуляции – кодово-импульсная и амплитудно-импульсная. До настоящего времени средства системы «Орбита-ТМ» применяются в новейших ракетных изделиях. РТС «Орбита-ТМ» использует цифровой способ передачи телеметрической информации о быстро- и медленноменяющихся процессах с борта испытываемого летательного аппарата. В 1983 г. создана траекторно-телеметрическая система «Орбита-ТРТК».

«Орбита-IV МО» [45] – бортовая ТМС предназначена для сбора ИИ от первичных преобразователей (датчиков аппаратуры, датчиков различных типов, цифровых абонентов типа согласующих устройств с БЦВМ, навигационной аппаратуры потребителя), а также от бортовых запоминающих устройств (БЗУ); дискретизации (временного опроса) измеряемых входных сигналов и их временного уплотнения; преобразования дискретизированных сигналов в единую цифровую форму и формирования единого выходного информационного сигнала; передачи сформированного информационного сигнала по радиолинии или по видеоканалу со скоростью от 4 Кбит/с до 3,2 Мбит/с; запоминания части или всего потока ИИ объемом до 16 Мгслов в БЗУ с последующей передачей. Система ТМИ на базе «Орбита IV МО» применяется для ракеты-носителя (РН) «Ангара», МБР «Тополь», «Ярс», «Булава» и других специзделий. Практически все существующие типы ТМС (РТС-9, БРС-4 и «Орбита-ТМ») используются до настоящего времени на полигоне Сары-Шаган, что позволяет, в зависимости от задач эксперимента и установленного на ЛА бортового оборудования, применять то или иное средство измерений без ущерба полноте и качеству ТМИ. РТС-9 использовались для управления пилотируемыми КА «Союз» и станциями «Салют». Наземные приемно-регистрирующие станции РТС-5, РТС-6, РТС-8, РТС-9 и унифицированные станции МА-9, МА-9 МКС, 17-ПРС для приема телеметрических структур РТС-5,

РТС-6, РТС-8, универсальная станция МА-9МК и сейчас находятся в эксплуатации. Из инновационных разработок следует отметить перебазируемый комплекс телеметрических измерений, наземные антенные телеметрические комплексы АП-4, пришедшие на смену антенным комплексам «Жемчуг» и «Изумруд».

Перебазируемый комплекс телеметрических измерений «Селена-ИТ» обеспечивает [60] одновременный прием телеметрических сигналов двух поляризаций в метровом (М1, М2, М3) и дециметровом (Д1, Д2 и Д4) диапазонах с развязкой между поляризационными каналами не хуже минус 20 дБ; передачу высокочастотного (ВЧ) сигнала по кабелю на расстояние не менее 50 м с ухудшением шумовых характеристик не более чем на 0,4 дБ; эффективную поверхность не менее 3 м² в дециметровом диапазоне и не менее 2 м² – в метровом. Выходные параметры антенной системы совместимы с линейным трактом приемно-регистрирующей аппаратуры «Вектор».

Приемно-регистрирующая аппаратура «Вектор» предназначена [60] для приема телеметрии структур бортовой аппаратуры на рабочих частотах диапазонов волн: метровом (М1, М2, М3) и дециметровом (Д1, Д2 и Д4); приема потоков телеметрической информации в структуре кадров «Скут» («Сириус»), «Пирит», «РТС-9Ц», «РТС-Ц», «РТС-9 КИМ-Ц», «РТС-9 ВИМ», «РТСЦ-М2», «Орбита-1V МО»; демодуляции принятых радиосигналов; выделения синхросигналов из принятого потока ТМИ; преобразования информации и формирования кадра регистрации ТМИ для обеспечения ввода ее в ПЭВМ; формирования сигналов временной привязки ТМИ; регистрации ТМИ на накопитель на жестком диске, перезаписи информации на оптический диск (DVD) и воспроизведения потока ТМИ в сопровождении сигналов времени; декоммутации кадра ТМИ. Характеристики: Широкополосный прием данных в X,L-диапазонах. Входная частота: 2×720 МГц, 1×1,2 ГГц ± 300 МГц. Битовая скорость приема от 500 кбит/с до 2 Гбит/с.

Приемно-регистрирующая аппаратура ПРА-МК [61] предназначена для работы в составе комплекса средств «быстрой» телеметрии БРС-4МК (БРС-4, БРС-4М). Она обеспечивает прием, преобразование, регистрацию и выдачу на обработку измерительной информации от различных модификаций бортовой телеметрической аппаратуры системы БРС-4М. Максимальная информативность при приеме сигнала по радиоканалу или по видеоканалу – до 1280 кБит/с. Максимальное время регистрации информации бортового устройства «Кварц» на единый магнитный носитель – 1400 с.

МТПУ РТ-404 – малогабаритный телеметрический приемник четвертого дециметрового диапазона [62] предназначен для эксплуатации в составе наземных ТМС для приема сигналов от бортовых телеметрических систем типа БР-91ЦК-М6 на старте изделия (РКН и РБ) и в местах контроля систем (в качестве средства проверки исправности и контроля работы передающего комплекса). ТХ: температура окружающего воздуха Т°С – 0÷+50. Электропитание – промышленная сеть 220±22 В, частота 50±1 Гц, от сети постоянного напряжения 12В с возможностью изменения в диапазоне от 10 до 30В. Мощность потребления РТ-404: по цепи 220В – не более 30 Вт; по цепи 12В – не более 20 Вт. Прибор обеспечивает прием информации, передаваемой с помощью частотно-манипулированного радиосигнала с индексом модуляции М=0,7 и скоростью передачи информации (v_{ii}) 8, 32, 256 и 1024 кбит/с. Избирательность прибора: по соседнему каналу – не менее 60 дБ; по побочным каналам приема – не менее 70 дБ; по блокированию – не менее 65 дБ. Динамический диапазон изменения сигнала на входе прибора РТ-404 – не менее 60 дБ. Достоверность принятой информации прибора – не хуже 10⁻⁴. Коэффициент шума прибора – не более 8 дБ. Чувствительность прибора S при $v_{ii}=1024$ кбит/с не хуже минус 119 дБ/Вт.

10. Заключение

Анализ существующих систем траекторных измерений и телеметрического обеспечения показывает их важную обеспечивающую роль при обработке образцов изделий ЛА/ЛО. Телеметрическая информация и результаты траекторных измерений являются исходными данными для оценки качества функционирования испытываемых изделий.

В последние годы был создан класс совершенных РЛС обнаружения и целеуказания, а также дополняющих их радиовысотометров, способных определять все координаты воздушных целей на разных дальностях и высотах их полёта в различных климатических условиях. Среди перспективных РЛС дальнего обнаружения можно отметить семейство станций «Воронеж». Анализ возможностей полигонного радиотехнического оборудования по обеспечению проведения испытаний существующих и перспективных образцов летательных аппаратов/объектов показал необходимость создания всепогодного комплекса внешнетраекторных измерений, обладающего современными свойствами радиотехнических измерительных систем (мобильность, многоканальность, всепогодность), а по точности не уступающего оптическим средствам.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Додонов А.Г. Построение информационно-аналитической системы научно-исследовательского испытательного полигона / А.Г. Додонов, В.Г. Путятин, В.А. Валетчик // Управляющие системы и машины. – 2006. – № 4. – С. 3 – 14.
2. Кучеров А.С. Измерительно-вычислительный комплекс для натурных экспериментов: учебн. пособ. / Кучеров А.С., Путятин В.Г., Сердюк В.Г. – Киев: КВИРТУ ПВО, 1992. – 302 с.
3. Дубас В.Н. Полигонные испытания радиолокационных станций слежения на стадии их разработки / Дубас В.Н., Иванов В.А., Путятин В.Г. – Киев: Ин-т новых физич. прикладных проблем, 1993. – 132 с.
4. Додонов А.Г. Наземные оптические, оптико-электронные и лазерно-телевизионные средства траекторных измерений / А.Г. Додонов, В.Г. Путятин // Математичні машини і системи. – 2017. – № 4. – С. 30 – 57.
5. Путятин В.Г. Об одной задаче высокоточных траекторных измерений оптическими средствами / В.Г. Путятин, В.А. Додонов // Реєстрація, зберігання і обробка даних, 2017. – Т. 19, № 2. – С. 36 – 54.
6. ГОСТ Р 54022-2010. Глобальные навигационные спутниковые системы. Система траекторных измерений летательных аппаратов на базе навигационных спутниковых систем. Общие требования и методы испытаний. – М.: Стандартинформ, 2011. – 12 с.
7. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ecoruspace.me/Навигационная+система+Европы.html>.
8. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://books.google.com.ua/books?isbn=5457022307/Система+ТИ+«Индикатор-Д»>.
9. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.kik-sssr.ru/VTI.htm> / Первая система траекторных измерений в ПИКе Байконура и КИКе.
10. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://defendingrussia.ru/enc/radioteh_sprn/5n79_darjal-2834/РЛС+«Дарьял»+\(«Дарьял-У»\)](https://defendingrussia.ru/enc/radioteh_sprn/5n79_darjal-2834/РЛС+«Дарьял»+(«Дарьял-У»)).
11. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://bastion-opk.ru/volna-rls/> ЗГРЛС дальней зоны «Волна».
12. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://vpk.name/library/f/volga-rls.html>.
13. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Дунай_\(радиолокационная_станция\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/Дунай_(радиолокационная_станция)).
14. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.vko.ru/oruzhie/neprevzoydenny-dunay-3u>.
15. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.rusarmy.com/pvo/pvo_vsk/rls_p-15_p-19.html.
16. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.kbradar.by/products/radiolokatsiya/modernizatsiya-i-remont-rls-i-zenitnogo-raketnogo-vooruzheniya/100/КБ+Радар>.

17. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://ru.stalker.wikia.com/wiki/Загоризонтная РЛС«Дуга»](http://ru.stalker.wikia.com/wiki/Загоризонтная_РЛС«Дуга»).
18. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.famhist.ru/famhist/chertok/003317d1.htm/«Кама»РЛС>.
19. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.okbmei.ru/docs/bogomolov_100_let_2.pdf/РЛС «Кама-ИК».
20. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://kbkuntsevo.ru/develop-kama.php/РЛС «Кама-Н»>.
21. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/РЛС Дон-2Н](https://ru.wikipedia.org/wiki/РЛС_Дон-2Н).
22. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://pvo.guns.ru/abm/don.htm/РЛС Дон-2Н](http://pvo.guns.ru/abm/don.htm/РЛС_Дон-2Н).
23. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.rusarmy.com/pvo/pvo_vvs/rls_nebo.html/Небо\(РЛС\)](http://www.rusarmy.com/pvo/pvo_vvs/rls_nebo.html/Небо(РЛС)).
24. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://militaryrussia.ru/blog/topic-618.html/РЛС «Небо-У»>.
25. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.rusarmy.com/pvo/pvo_vvs/rls_nebo-ue.html/РЛС «Небо-УЕ».
26. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://pvo.guns.ru/rtv/nitel/1113.htm/РЛС «Небо-СВ»>.
27. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://roe.ru/catalog/protivovozdushnaya-oborona/sredstva-obnaruzheniya-vozdushnykh-tseley/nebo-svu/РЛС «Небо-СВУ»>.
28. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.rusarmy.com/pvo/pvo_vsk/rls_nebo-svu.html/РЛС «Небо-СВУ».
29. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://militaryrussia.ru/blog/topic-690.html/РЛС«Небо-М»>.
30. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.vko.ru/gallery/rls-st-68/РЛС «СТ-68»>.
31. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://pvo.guns.ru/rtv/st68um.htm/РЛС СТ-68УМ](http://pvo.guns.ru/rtv/st68um.htm/РЛС_СТ-68УМ).
32. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.rusarmy.com/pvo/pvo_vvs/rls_protivnik-ge.html/РЛС «Противник-ГЕ».
33. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://iskra.zp.ua/index.php?option=com_content&view=article&id=98&Itemid=3/РЛС 80К6М](https://iskra.zp.ua/index.php?option=com_content&view=article&id=98&Itemid=3/РЛС_80К6М).
34. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://armsdata.net/russia/0613.html/РЛС "Каста-2Е1"](http://armsdata.net/russia/0613.html/РЛС_«Каста-2Е1»)
35. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.rusarmy.com/pvo/pvo_vvs/rls_kasta-2e2.html/РЛС «Каста-2-Е2».
36. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.vko.ru/oruzhie/neman-na-balhashe/РЛС «Неман-П»>.
37. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.rusarmy.com/pvo/pvo_vvs/rls_rezonans-ne.html/РЛС «Резонанс-НЭ».
38. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.rusarmy.com/pvo/pvo_vsk/rls_9s19_imbir.html/РЛС «Имбирь».
39. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://rbase.new-factoria.ru/missile/wobb/c300v/9c15m.shtml/РЛС 9С15М "Обзор-3"](http://rbase.new-factoria.ru/missile/wobb/c300v/9c15m.shtml/РЛС_9С15М_«Обзор-3»).
40. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://militaryrussia.ru/blog/topic-872.html/48Я6-К1 Подлет-К1](http://militaryrussia.ru/blog/topic-872.html/48Я6-К1_Подлет-К1).
41. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.raspletin.ru/> / РЛС «Истра» комплекса «Аргунь-П».
42. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://militaryrussia.ru/blog/topic-776.html/РЛС П-90 «Памир»](http://militaryrussia.ru/blog/topic-776.html/РЛС_П-90_«Памир»).
43. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://bastion-karpenko.narod.ru/voroneg-DM_kaliningrad_01.html/РЛС «Воронеж»](http://bastion-karpenko.narod.ru/voroneg-DM_kaliningrad_01.html/РЛС_«Воронеж»).
44. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://militaryrussia.ru/blog/topic-805.html/96Л6-1/96Л6Е Всевысотный обнаружитель](http://militaryrussia.ru/blog/topic-805.html/96Л6-1/96Л6Е_Всевысотный_обнаружитель).
45. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.okbmei.ru/innovation_4.html/ Бортовая и наземная аппаратура](http://www.okbmei.ru/innovation_4.html/Бортовая_и_наземная_аппаратура).
46. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.okbmei.ru/innovation_4.html/ «МПРС-ПМ»](http://www.okbmei.ru/innovation_4.html/«МПРС-ПМ»).
47. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.cta.ru/cms/f/369979.pdf/МАС-3>.
48. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: академия-ввс.рф/images/sbornik/aviator/sbornik_aviator2015_1.pdf.

49. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://topwar.ru/46880-kompleks-radiotekhnicheskoy-razvedki-85v6-a-vega.html>.
50. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.kik-sssr.ru/IP_1_Turatam.htm.
51. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.kvirtu40let.narod.ru/kvirtu/grup5/pr-7.html/ФП«Висла-М».
52. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://kfp-ritm.ru/index.php/КФП«РИТМ»>.
53. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.okbmei.ru/innovation_5.html/Корреляционно-фазовые пеленгаторы.
54. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.altair1.ru/prod/vti/Комплекс«ВТИ-ЛА»>.
55. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://cosmos.evporiya-history.info/ploschadki/pluton.php/РТК«ПЛУТОН»>.
56. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.kik-sssr.ru/RT-70_Kvant-D.htm/РТК«Квант-Д».
57. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://weteran.pp.ua/tehnika.htm/ТехникаЦДКС>.
58. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.kik-sssr.ru/Saturn.htm./НРТК«Сатурн-МСД»>.
59. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.nppmera.ru/assets/files/documentation/RE%20Istochnic-M.pdf/ТМС«Источник-М»>.
60. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/perspektivy-ispolzovaniya-perebaziruemogo-kompleksa-telemetricheskih-izmereniy-selena-it-pri-prieme-i-obrabotke-dannyh-dzz-v-sisteme>.
61. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://repository.dnu.dp.ua:1100/upload/a1a04591cf0e9d424c2a24121ce41cbeRadioTelemetry_Posob.pdf.
62. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://oaoniikp.ru/prod2.php?id=12/Телеметрический приемник четвертого дециметрового диапазона РТ404>.

Стаття надійшла до редакції 31.01.2018