

Диалектика технологий
**ВОЗДУШНО-КОСМИЧЕСКОЙ
ОБОРОНЫ**



**Посвящается 50-летию
первого в мире перехвата
баллистической цели,
совершенному
4 марта 1961 года**

ДИАЛЕКТИКА ТЕХНОЛОГИЙ ВОЗДУШНО-КОСМИЧЕСКОЙ ОБОРОНЫ

Научное издание

МИНИСТЕРСТВО ПРОМЫШЛЕННОСТИ И ТОРГОВЛИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ДЕПАРТАМЕНТ
РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

ДИАЛЕКТИКА ТЕХНОЛОГИЙ ВОЗДУШНО-КОСМИЧЕСКОЙ ОБОРОНЫ

**Под редакцией докт. технич. наук
профессора Минаева В.Н.**

МОСКВА
ИЗДАТЕЛЬСКИЙ ДОМ
СТОЛИЧНАЯ ЭНЦИКЛОПЕДИЯ
2011

УДК 355.354+623.74:629.78

ББК 68.55

Д44

ISBN 978-5-903989-09-6

Под редакцией *доктора технических наук профессора Минаева В.Н.*
Научный редактор *доктор технических наук профессор Рахманов А.А.*
Составитель *кандидат технических наук Муравьев С.А.*

В книге рассказывается о развитии технологий противовоздушной, ракетно-космической и воздушно-космической обороны России, технологий испытаний систем и средств ВКО.

© ЗАО «Издательский дом «Столичная энциклопедия», художественное оформление, 2011

© Муравьев С.А., составление, 2011



МИНАЕВ В.Н.,
директор Департамента радиоэлектронной промышленности Министерства промышленности и торговли Российской Федерации, доктор технических наук, профессор

ВВЕДЕНИЕ

Зарождение современных систем и комплексов ВКО началось в 50-60-ые годы прошлого столетия. Политические руководители ведущих западных стран – США и Англии - не могли смириться со значительным усилением политического и военного влияния СССР, последовавшего после великой победы советского народа над немецким фашизмом во Второй мировой войне.

Уже в 1950-ые годы началась холодная война, стала раскручиваться спираль гонки вооружений, США отработали несколько планов нападения на СССР с применением ракетно-ядерного оружия. В начале 1950-ых планировалось нанесение ударов по основным экономическим и политическим центрам СССР с использованием стратегических бомбардировщиков - носителей атомных бомб, в 1960 – 1970-ых - с использованием межконтинентальных ядерных ракет и стратегических бомбардировщиков с крылатыми ракетами большой дальности в ядерном оснащении. Перед руководством СССР встала задача обеспечения надежной защиты страны от угрозы применения ядерного оружия.

Первая зенитная ракетная система для ПВО г. Москвы С-25 была разработана в фантастически короткий срок – 4,5 года. В мае 1955-го система С-25 была принята на вооружение Советской Армии и обеспечила надежную защиту столицы нашего государства от массированных ударов стратегической авиации. Параллельно со стационарной зенитной ракетной системой С-25 шла разработка перевозимых ЗРС средней дальности С-75, которая завершилась в 1957 году, и малой дальности С-125, принятой на вооружении в 1961 году.

Последующие поколения ЗРС – С-200, С-300 и ее модификации, С-400 - подтвердили высочайший уровень отечественной зенитной ракетной техники. Сегодня Россия является признанным мировым лидером зенитного ракетного вооружения. ЗРК российского производства успешно охраняют воздушные рубежи не только нашей страны, но и многих стран мира, прошли боевое крещение во многих локальных войнах и конфликтах, подтвердили свою высокую репутацию.

Наряду с задачей создания эффективной противовоздушной обороны решалась задача разработки ракетно-космической обороны страны. В короткие сроки были созданы и поставлены на боевое дежурство уникальные системы противоракетной и противокосмической обороны,

предупреждения о ракетном нападении, контроля космического пространства.

4 марта 1961 года на полигоне в районе озера Балхаш был осуществлен первый в мире перехват баллистической ракеты. Противоракета, оснащенная осколочной боевой частью, с высокой точностью была наведена на баллистическую ракету-цель в полете и уничтожила ее. США сумели добиться аналогичного результата лишь двадцать лет спустя. В августе 1970 года впервые в мировой практике советским противокосмическим комплексом была поражена космическая цель-мишень.

Наряду со стратегическими ядерными силами Советского Союза средства воздушно-космической обороны страны сыграли большую роль в предотвращении третьей мировой войны, сдерживании потенциальных агрессоров от применения военной силы против нашего государства.

В последние годы появилось много публикаций об истории создания и основных тактико-технических характеристиках систем воздушно-космической обороны. В представляемой на суд читателей книге нам хотелось отразить диалектику развития систем и комплексов воздушно-космической обороны, показать, как развитие науки и техники неизменно воплощалось в каждом новом поколении отечественного вооружения, влияло на рост его боевых возможностей и отдельных характеристик, что обеспечило мировой уровень нашей военной техники.

В книге представлены основные системы, комплексы, образцы вооружения ВКО. Материалы написаны главными действующими лицами, непосредственными участниками описываемых событий – руководителями предприятий, главными конструкторами, разработчиками систем и комплексов вооружения. Книга позволит широкому кругу читателей познакомиться с предметной областью, ее содержанием, историей создания, состоянием и перспективами развития воздушно-космической обороны.

ГЛАВА ПЕРВАЯ
ТЕХНОЛОГИИ
ПРОТИВОВОЗДУШНОЙ
ОБОРОНЫ





АШУРБЕЙЛИ И.Р.,
генеральный директор
ОАО «ГСКБ «Алмаз-
Антей», кандидат тех-
нических наук



ЛАГОВИЕР А.И.,
первый заместитель
генерального директо-
ра – генеральный кон-
структор ОАО «ГСКБ
«Алмаз-Антей», доктор
технических наук, про-
фессор



СУМИН А.С.,
советник генерально-
го конструктора ОАО
«ГСКБ «Алмаз-Антей»,
доктор технических на-
ук, профессор

ЗЕНИТНЫЕ РАКЕТНЫЕ КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ

Опыт локальных военных конфликтов второй половины XX века и начала XXI века показал, что государство, которое хочет быть суверенным, должно уметь защищать свои воздушно-космические границы. Как следует из Военной доктрины Российской Федерации, утверждённой Президентом России 5 февраля 2010 г., безопасность России в военном плане существенно зависит от надёжной противовоздушной, в перспективе — воздушно-космической обороны.

В государствах с развитыми системами ПВО зенитные ракетные войска являются основной огневой силой ПВО и предназначены для непосредственного прикрытия с помощью зенитных ракетных комплексов (ЗРК) и систем (ЗРС) объектов Вооружённых сил, экономики и инфраструктуры стран от ударов средств воздушного нападения.

Уже более 60 лет развитие ЗРС осуществляется диалектически, во всей сложности и противоречивости, во всём многообразии в соответствии с диалектикой развития средств воздушно-космического нападения (СВКН).

ЗРК и ЗРС классифицируются по дальности стрельбы: ближнего действия (БД), малой дальности (МД), средней дальности (СД) и дальнего действия (ДД).

С середины 1950-х гг. и до настоящего времени основу противовоздушной обороны СССР, России и стран СНГ составляли зенитные ракетные системы и комплексы разработки образованного постановлением СМ СССР от 8 сентября 1947 г. № 3140-1026 Специального бюро № 1, которое тем же решением было определено головным предприятием в стране по разработке управляемого ракетного оружия.

Предприятием были заложены основные принципы создания и функционирования управляемого ракетного оружия классов «воздух-море» и «земля-воздух».

За годы своего существования предприятие неоднократно меняло своё название. В августе 1950 г. оно было переименовано в КБ-1, в 1966 г. преобразовано в Московское конструкторское бюро «Стрела», с 1971 г. — в Центральное конструкторское бюро «Алмаз», с 1984 г. — в Научно-производственное объединение «Алмаз», с 1992 г. — в Научно-производственное конструкторское бюро «Алмаз». В 1995 г. после проведения акционирования предприятие преобразовано в АО «Центральное конструкторское бюро «Алмаз», а с 1996 г. — в ОАО «Центральное конструкторское бюро «Алмаз». В 2001 г. предприятие было переименовано в ОАО «Научно-производственное объединение «Алмаз» им. академика А.А. Расплетина».

С 2002 г. в соответствии с указом Президента Российской Федерации № 412 от 23.04.2002 г. и постановлением Правительства РФ № 480 от 28.06.2002 г. ОАО «Научно-производственное объединение «Алмаз» им. академика А.А. Расплетина» входит в состав холдинга ОАО «Концерн ПВО «Алмаз-Антей».

В 2008 г. общество преобразовано в ОАО «Головное системное конструкторское бюро Концерна ПВО «Алмаз-Антей» им. академика А.А. Расплетина» (ОАО «ГСКБ «Алмаз-Антей»).

За годы существования ОАО «ГСКБ «Алмаз-Антей» являлось одним из ведущих предприятий в мире в области создания зенитных ракетных систем ПВО. За эти годы разработаны и поставлены на вооружение:

- зенитная ракетная система противовоздушной обороны г. Москвы «Беркут» С-25 (1955 г.);
- зенитный ракетный комплекс средней дальности С-75 (1959 г.);
- зенитный ракетный комплекс малой дальности С-125 (1961 г.);
- зенитная ракетная система большой дальности С-200 (1967 г.);
- семейство многоканальных зенитных ракетных систем С-300П (1979–1990 гг.);
- многоканальная зенитная ракетная система большой и средней дальности С-400 «Триумф» (2007 г.).

Зенитная ракетная система С-25

Ситуация, сложившаяся в мире после Второй мировой войны, — создание ядерного оружия, появление новых средств воздушного и ракетного нападения, начало «холодной войны» — вызвала необходимость совершенствования системы ПВО СССР.

Сохранились доказательства того, что США после создания первой ядерной бомбы имели планы ведения войны с СССР с применением ядерного оружия.

К концу 1945 г. в США уже был разработан план «Тоталити» с атомной бомбардировкой городов СССР.

В июне 1946 г. Комитет начальников штабов США одобрил план «Пинчер» — удар полусотни атомных бомб по двадцати жизненно важным центрам СССР.

С 1948 г. действовал американский план ядерной войны с СССР «Чариотер», что значит «Колесничий». По плану война должна была начаться 1 апреля 1949 г. Первый удар 133 атомными зарядами должен был быть нанесен по 70 целям — крупнейшим городам.

В апреле 1949 г. был создан Североатлантический блок с участием США, Канады и первоначально десяти западноевропейских стран. Спустя шесть лет после создания НАТО, в 1955 г., возникла Организация Варшавского договора.

Созданием НАТО Запад перевел «холодную войну» в острую фазу, началась разработка планов ядерной войны участниками блока НАТО против СССР и стран Восточной Европы.

США сделали упор на развитие авиационных средств доставки ядерных боеприпасов с использованием стратегической, тактической и палубной авиации.

В 1949 г. был разработан план «Дропшот», предполагавший начало ядерной войны в январе 1957 г. Планом предусматривалось нанесение ядерных бомбовых ударов по крупнейшим городам и промышленным центрам СССР.

Создание и применение ядерного оружия, интенсивные исследования и разработки авиационных и ракетных средств его доставки требовали принятия срочных мер защиты объектов от ракетно-авиационных ударов.

В СССР было принято решение наряду с совершенствованием истребительной авиации и зенитной артиллерии перейти к разработке принципиально новых видов вооружений: управляемого ракетного оружия класса «воздух-море» для борьбы со средствами доставки палубной авиации и зенитного управляемого ракетного оружия «земля-воздух» для защиты страны от средств воздушного нападения.

Первой в мире многоканальной зенитной ракетной системой стала разработанная в КБ-1 ЗРС средней дальности «Беркут» С-25. На основе ЗРС С-25 к середине 1950-х гг. была создана эшелонированная зональная зенитная ракетная оборона г. Москвы и Московского промышленного района.

Система С-25 по тем временам создавалась с использованием самых передовых технических решений.

Основу системы С-25 составляли зенитные ракетные комплексы, состоявшие из центральных радиолокаторов наведения (ЦРН) Б-200 и стартовых позиций с ЗУР.

ЦРН Б-200 разработки КБ-1 располагался в полуподземном бункере. Два антенных устройства азимута и угла места с антеннами диаметром 8 м размещались снаружи.

Трёхкоординатная многофункциональная радиолокационная станция Б-200 с функциями линейного сканирования пространства в ортогональных плоскостях обеспечивала высокую эффективность обнаружения, государственного опознавания, сопровождения до 20 целей и наведения до 20 ракет в секторе 60° по азимуту и углу места.

Антенна азимута наклонена на 30° к горизонту, формировала лопатообразную в вертикальной плоскости диаграмму $1,5 \times 55^\circ$ и сканировала против часовой стрелки от -30 до 30° .

Антенна угла места формировала лопатообразную в горизонтальной плоскости диаграмму $1,5 \times 55^\circ$ и сканировала снизу вверх от $0,5$ до 63° .

Одноступенчатая ЗУР В-300 (заводской индекс 205, а затем 207А) разработки ОКБ-301, возглавляемого С.А. Лавочкиным, выводила в точку встречи с целью боевое снаряжение массой 280 кг, обеспечивая вероятность поражения цели более 0,7.

Стартовая позиция с ракетами размещалась перед ЦРН на расстоянии от 1,2 до 4 км и состояла из 60 пусковых установок с 60 ракетами (по три на канал).

В 1955 г. постановлением ЦК КПСС от 14 апреля № 720-435 и постановлением СМ СССР от 7 мая № 893-533 зенитная ракетная система С-25 была принята на вооружение Советской Армии. Была создана 1-я армия ПВО особого назначения. Вокруг Москвы были развернуты в два кольца 56 зенитных ракетных комплексов (зенитных ракетных полков). Одно кольцо (22 ЗРК) находилось на расстоянии 45–50 км от центра Москвы, а другое (34 ЗРК) — на расстоянии 85–90 км. Каждый ЗРК мог одновременно обстреливать 20 целей на дальностях до 35 км и на высотах до 25 км. Таким образом, система С-25 могла одновременно отражать удар более 1000 самолетов.

Кроме 56 зенитных ракетных стационарных комплексов в состав системы входили:

- центральный командный пункт системы;
- четыре корпусных командных пункта, расположенных на кольце радиусом около 30 км;
- 26 радиолокационных стационарных станций кругового обзора А-100 — четыре на каждом из корпусных командных пунктов, размещенных чуть позади ближнего огневого кольца, и 22 — на вынесенных вперед рубежах (200 км от Москвы);
- шесть ракетных баз, где хранились, периодически проверялись, заправлялись топливом и снаряжались боевыми частями ракеты для вывоза на стартовые позиции огневых комплексов.

Все боевые объекты соединялись линиями кабельной подземной связи, а огневые комплексы — сетью подъездных бетонных дорог.

К 1959 г. было произведено более 30 тысяч ЗУР для системы С-25.



Рис. 1
Радиолокатор Б-200



Рис. 2
Пусковая установка
и ЗУР ЗРК С-25

В итоге создание системы С-25 стало непреодолимым щитом для средств воздушного нападения вероятного противника на Москву.

Жизненный цикл системы С-25 составил более 30 лет, при этом система подвергалась многократной модернизации для поддержания необходимой боевой эффективности.

Таблица 1. Основные характеристики ЗРС С-25

Характеристики	1955 г.	1964 г.	1970 г.
Типы поражаемых целей	Самолёты СА и ТА	Самолёты СА и ТА	Самолёты СА и ТА
Максимальная дальность сопровождения целей, км	54	75	75
Максимальная скорость поражаемых целей, км/ч	1250	2000–3700	до 4300
Максимальная дальность поражения, км	35	43	54
Максимальная высота поражения, км	20	30	35
Минимальная высота поражения, км	5	1,5	0,5
Количество поражаемых целей	до 20	до 20	до 20

Опыт создания системы С-25 позволил накопить уникальные научные заделы и создать передовые технические решения и технологии, сформировать научную школу и квалифицированные коллективы учёных и разработчиков, что послужило основой дальнейшего развития зенитного ракетного оружия в СССР и мире.

Зенитный ракетный комплекс С-75

Стационарность средств системы С-25 не позволяла размещать их на обширной территории и защищать многие промышленные и военные объекты СССР. Возникла необходимость в создании перевозимого зенитного управляемого ракетного оружия для построения территориально-объектовой обороны страны.

С этой целью в 1953 г. перед КБ-1 была поставлена задача создания перебазируемого ЗРК и начата разработка перевозимого зенитного ракетного комплекса С-75.

ЗРК С-75 предназначен для обороны важнейших административных, промышленных и военных объектов от ударов средств воздушного нападения.

ЗРК С-75 разрабатывался на основе принципов, заложенных в ЗРС С-25, в том числе на принципе обеспечения линейного сканирования пространства в ортогональных плоскостях. Вместе с тем при проектировании ЗРК были найдены и внедрены многие новые научно-технические

решения, так как создание перевозимого зенитного ракетного комплекса потребовало решения целого ряда задач.

Для обстрела целей, летящих с любого направления и на всех высотах, конструкция антенного поста размещалась на лафете, вращающемся по азимуту на угол 360° , и имела возможность перемещаться в вертикальной плоскости на угол $0-90^\circ$.

Для обнаружения сигнала цели на индикаторах и последующего автоматического или ручного сопровождения, а также сопровождения сигналов ответчика ракеты антенная система в наклонной и вертикальной плоскостях имела линейное сканирование в пределах $\pm 10^\circ$ относительно центра сектора. Сканеры, перемещающие лучи в пространстве, конструктивно находились внутри антенной системы.

Потребовалась разработка метода наведения ракеты на цель с углом упреждения не более 10° .

Время сборки антенного поста на позиции после проведения марша должно было быть минимальным и не требовать прецизионных измерений специальными средствами.

Комплекс является одноканальным по цели. Он осуществляет поражение цели, совершающей полёт в произвольном направлении, обеспечивая наведение на цель до трёх ракет.

Ракеты — двухступенчатые с наклонным стартом. Первая ступень ракеты — пороховой ускоритель, маршевый двигатель второй ступени — жидкостной.

Средства комплекса размещаются в перевозимых прицепах и полуприцепах.

Электроснабжение средств ЗРК — от передвижных дизельных электростанций или промышленной сети.

В конце 1957 г. были завершены государственные испытания первой модификации ЗРК СА-75 («Двина»), и он был принят на вооружение.

В 1961 г. на вооружение страны был принят комплекс С-75 «Волхов» в новой модификации, который впоследствии под названием «Волга» стал также поставляться в зарубежные страны.

ЗРК ряда С-75 прошли проверку в боевых условиях.

7 октября 1959 г. в районе столицы Китая Пекина с помощью ЗРК СА-75 «Двина» был уничтожен тайваньский скоростной разведчик RB-57D.

1 мая 1960 г. над территорией СССР ЗРК С-75 был сбит разведывательный высотный самолёт U-2 «Локхид», а 27 октября 1962 г. — U-2 над Кубой.



Рис. 3
Радиолокационная станция наведения ЗРК С-75



Рис. 4
Пусковая установка и ЗУР ЗРК С-75

Во Вьетнаме (1965–1973 гг.) зенитными ракетными комплексами типа С-75 были сбиты 54 стратегических бомбардировщика В-52, 1109 других самолётов и 130 беспилотных летательных аппаратов. Всего с 1965 по 1972 гг. во Вьетнам было доставлено из Советского Союза 95 ЗРК С-75 и 7658 ракет к ним.

ЗРК С-75 использовались во время индо-пакистанской войны 1971 г., во время арабо-израильской войны 1973 г.

Дальнейшие работы велись в направлении расширения боевых возможностей и тактико-технических характеристик ЗРК С-75. Всего было проведено три крупных модернизации. Модификация комплекса С-75 была установлена на крейсере «Киров».

В 1998–2001 гг. разработан новый вариант модернизированного ЗРК С-75-2 («Волга-2А»).

Целью модернизации является:

- продление сроков эксплуатации за счёт замены основной части аналоговой аппаратуры РСН на современную цифровую аппаратуру;
- повышение тактико-технических характеристик за счёт реализации цифровых алгоритмов обработки информации и управления;
- улучшение эксплуатационных характеристик;
- повышение эффективности поражения современных средств воздушного нападения, в том числе крылатых ракет и других малозаметных целей во всем диапазоне высот и скоростей их полёта.

В состав ЗРК «Волга-2А» входят:

- модернизированная станция наведения ракет РСН-75ВМ-2А в составе:
- модернизированная аппаратная кабина управления АВ-2А;
- модернизированная кабина управления УВ-2А;
- приёмо-передающая кабина ПВ;
- прицепы П-1В, П-2В, П-3В;
- передвижная ремонтная мастерская (ПРМ);
- ракетная батарея, включающая:
- до шести пусковых установок ПУ-СМ-90;
- до шести транспортно-заряжающих машин;
- система электроснабжения, включающая:
- распределительно-преобразовательные кабины РКУ (2 шт.);
- дизель-электростанции (ДЭС) 5Е96А (2 шт.);
- передвижную трансформаторную подстанцию (ПТП) 5Е74М-230;
- средства технического обеспечения;
- зенитные управляемые ракеты 20Д и 5Я23.

Дополнительно ЗРК могут придаваться радиолокационные станции обнаружения и целеуказания П-12 и П-15.

В соответствии с разработанной конструкторской документацией модернизация ЗРК базируется на использовании унифицированной цифровой аппаратуры, выполненной с применением технических решений, реализованных в ЗРС С-300ПМУ1.

При модернизации ЗРК «Волга» блоки с аналоговой аппаратурой заменяют блоками, выполненными с использованием современных технологий и элементной базы. Дополнительно вводятся цифровые блоки с новыми функциями: борьба с помехами, АС в телевизионном канале, управление антенной. Время для проведения регламентных работ

при этом сокращается примерно в 2 раза. Потребление электроэнергии уменьшается на 20–35%.

По оценке ОАО «ГСКБ «Алмаз-Антей», разработчика ЗРК «Волга», данная модернизация наиболее целесообразна исходя из критерия стоимость/эффективность.

Таблица 2. Основные сравнительные характеристики модернизированного ЗРК С-75-2 («Волга-2А»)

Характеристики	Волга	Волга-2А
Режимы работы целевого канала РСН: – радиолокационный – телеоптический – радиолокационный с когерентным накоплением	есть есть нет	есть есть есть
Максимальная скорость поражаемой цели, м/с	1030	1030
Границы зоны поражения цели при отсутствии радиопомех: – верхняя, км – нижняя, км	30 0,1	30 0,1
Дальняя (наклонная дальность), км – на высоте 0,5 км – на высоте 5–25 км – на высоте 30 км – ближняя (горизонтальная дальность)	24 40–56 45 7	27 45–60 55 7
Максимальный параметр поражаемой цели, км – на высоте 0,5 км – на высоте 5–25 км – на высоте 30 км	22 38–50 34	26 40–54 45
Наличие автоматического захвата и автосопровождения цели (2-мя каналами) в телеоптическом режиме РСН	нет	есть
Наличие автоматического захвата цели на АС в радиолокационном режиме	нет	есть
Время автоматического захвата цели на АС в радиолокационном режиме, с	8	2,5–3

Зенитный ракетный комплекс С-125

Локальные конфликты 1950-х гг. выявили необходимость применения технических средств и тактических приёмов действия ударной авиации на малых высотах, так как при этом резко снижаются дальность действия и эффективность ЗРК.



Рис. 5
Радиолокационная станция
наведения ЗРК С-125



Рис. 6
Пусковая установка
и ЗУР ЗРК С-125

Ответом на переход авиации потенциального противника к полётам на малых и предельно малых высотах (менее 1 км) в конце 1950-х гг. стало создание зенитного ракетного комплекса С-125.

В результате создания ЗРК С-125 был впервые решён ряд сложных научно-технических задач, обеспечивших:

- увеличение на порядок степени подавления мешающих отражённых сигналов от местных и других посторонних отражателей до уровня, ранее считавшегося недостижимым для импульсной радиолокации;
- устойчивое автоматическое сопровождение цели на фоне местных предметов при наличии сильных зеркальных отражений от земной поверхности в условиях различного рельефа местности и водной поверхности;
- выбор оптимальной траектории полёта ракеты и метода её наведения, обеспечивающих высокую точность наведения ракеты, летящей на предельно малой высоте;
- эффективное срабатывание боевого снаряжения ракеты по команде с земли при стрельбе по целям, летящим на высотах менее 50 м;
- эффективное поражение цели на высотах от 20 м до 18 км, в том числе в сложной помеховой обстановке.

ЗРК С-125 является одноканальным по цели и двухканальным по ракете. На одну цель может наводиться до двух ракет. Старт ракет — наклонный, с пусковой установки, синхронно связанной силовыми приводами управления с приводами антенной системы СНР.

Управление полётом ракеты и наведение её на цель осуществляется по радиокомандам, поступающим от СНР, а подрыв боевой части — по команде от радиовзрывателя (РВ) при подлёте на дальность срабатывания РВ либо по команде от СНР при стрельбе по целям, летящим ниже 50 м.

Средства системы размещаются в перевозимых прицепах и полуприцепах.

Электроснабжение средств системы — от передвижных дизель-электростанций или промышленной сети.

ЗРК С-125 — всепогодный комплекс и может эксплуатироваться в различных климатических условиях.

Управление боевой работой ЗРК осуществляется из аппаратной кабины УНК. Поступающие с РЛС П-15 и/или П-12 данные о воздушной обстановке отображаются на выносном индикаторе. После выбора цели производится разворот станции по азимуту в направлении цели, и осуществляется её допоиск по углу места и азимуту. Обнаруженная цель берётся на сопровождение по трём координатам. Сопровождение цели может производиться автоматически или ручным способом операторами ручного сопровождения (РС). Возможно смешанное сопровождение. При воздействии на целевой радиолокационный канал пассивных помех и/или отражений от местных предметов включается режим СДЦ (селекции движущихся целей), а при воздействии активных помех — режим КН (когерентного накопления сигнала). Кроме этого, используется телевизионный канал, позволяющий сопровождать цель по углам ручным способом оператором или в режиме автоматического сопровождения (АС).

Экспортные варианты ЗРК С-125 под названием «Печора» были поставлены в ряд зарубежных стран, всего поставлено около 520 ЗРК.

Началось боевое применение ЗРК С-125 во время арабо-израильского военного конфликта (в 1970 г. в Египте сбито 5 самолётов «Фантом» F-4А, в 1973 г. — 6 самолётов).

ЗРК С-125 использовались Ираком (во время войны с Ираном в 1980–1988 гг. и во время войны в Персидском заливе в 1990–1991 гг.) и Югославией в 1999 г. (при отражении налёта авиации НАТО ЗРК С-125 сбит самолёт-«невидимка» F-117А).

ЗРК С-75 и С-125 применялись также Сирией (для противовоздушной обороны долины Бекаа в 1982 г.), Ливией (для отражения налётов авиации ВМС и ВВС США в 1986 г.), Анголой (для борьбы с южноафриканской авиацией во время гражданской войны 1975–1994 гг.).

В 1998–2001 гг. был разработан новый вариант модернизации зенитного ракетного комплекса «Печора-2А».

Целью модернизации является:

- продление сроков эксплуатации за счёт замены аналоговой аппаратуры обработки сигналов, определения координат цели и ракет, выработки команд управления, тренировки боевых расчётов и др. на современную цифровую аппаратуру;
- повышение тактико-технических характеристик за счёт реализации цифровых алгоритмов обработки информации и управления;
- улучшение эксплуатационных характеристик комплексов.

В состав зенитного ракетного комплекса «Печора-2А» входят:

- ✓ модернизированная радиолокационная станция наведения ракет (СНР-125М-2А) в составе:
 - модернизированная аппаратная кабина управления (УНК-М2А);
 - антенный пост (УНВ);
 - передвижная ремонтная мастерская (ПРМ);
- ✓ ракетная батарея, включающая:
 - до четырех пусковых установок (5П73);
 - семь транспортно-заряжающих машин ПР-14АМ;

- ✓ система электроснабжения, включающая:
 - распределительно-преобразовательную кабину (РКУ) РКУ-Н;
 - дизель-электростанцию (ДЭС) 5Е96А;
 - передвижную трансформаторную подстанцию (ПТП) 5Е74М-230;
 - средства технического обеспечения;
 - зенитные управляемые ракеты (ЗУР) 5В27Д.

Дополнительно ЗРК могут придаваться радиолокационные средства обнаружения и целеуказания РЛС П-12 и П-15.

В соответствии с разработанной конструкторской документацией модернизация ЗРК базируется на использовании унифицированной цифровой аппаратуры, выполненной с применением технических решений, реализованных в ЗРС С-300ПМУ1.

При модернизации ЗРК «Печора» 46 блоков с аналоговой аппаратурой заменяют тремя блоками, выполненными с использованием современных технологий и элементной базы. Дополнительно вводятся 3 цифровых блока с новыми функциями: борьба с помехами, АС в телевизионном канале, управление антенной. Время для проведения регламентных работ при этом сокращается в 2–2,5 раза. Потребление электроэнергии уменьшается на 20–35%.

Аппаратура, используемая для модернизации ЗРК «Печора» до уровня ЗРК «Печора-2А», на 90% унифицирована с аппаратурой, используемой для модернизации ЗРК «Волга».

Работы по модернизации предусматривают проведение профилактического ремонта по программе и методикам оценки технического состояния не изымаемой аналоговой аппаратуры. Все работы могут проводиться в местах эксплуатации. Объём и направление модернизации могут уточняться по желанию заказчика.

Таблица 3. Основные сравнительные характеристики модернизированного ЗРК С-125 («Печора-2А»)

Характеристики	Печора	Печора-2А
Режимы работы целевого канала РСН:		
– радиолокационный	есть	есть
– телеоптический	есть	есть
– радиолокационный с когерентным накоплением	нет	есть
Максимальная скорость поражаемой цели, м/с	700	700
Границы зоны поражения цели при отсутствии радиопомех:		
– верхняя, км	18	20
– нижняя, км	0,02	0,02
Дальняя (наклонная дальность), км		
– на высоте 0,5 км	18	23
– на высоте 6 км	22	28
– на высоте 14–20 км	25	28
– ближняя (горизонтальная дальность)	3,0	3,5
Максимальный параметр поражаемой цели, км	16	24
Время автоматического захвата цели на АС, с	8	2,5 –3

По оценке разработчика ЗРК «Печора», данная модернизация наиболее целесообразна исходя из критерия стоимость /эффективность.

Зенитная ракетная система С-200

В конце 1950-х — начале 1960-х гг. в составе средств воздушного нападения произошли значительные изменения. Появились авиационные комплексы большой дальности действия: стратегические и тактические бомбардировщики, самолёты радиолокационного дозора и наведения, постановщики активных помех прикрития, барражирующие на больших дальностях, высотные самолёты-разведчики, крылатые ракеты. Возникшая ситуация потребовала адекватного ответа, что привело к созданию зенитного управляемого ракетного оружия, которое обеспечивало поражение крупноразмерных воздушных целей на больших дальностях, а также высокоскоростных целей в стратосфере. Система большой дальности действия была необходима и для создания противовоздушной обороны больших территорий.

В 1958 г. началось создание зенитной ракетной системы С-200 для поражения целей на больших дальностях. В этой системе предполагалось использовать самонаведение зенитной управляемой ракеты на цель с размещением на её борту радиолокационной головки самонаведения.



Рис. 7
Радиолокатор подсвета цели
ЗРС С-200



Рис. 8
Пусковая установка
и ЗУР ЗРС С-200

При разработке системы С-200 были впервые решены следующие задачи:

- разработаны принципы построения радиолокационных средств зенитного ракетного комплекса — радиолокатора подсвета цели (РПЦ) и полуактивной головки самонаведения ракеты (ГСН) — и требования к их аппаратуре, обеспечивающие сочетание высо-

ких точностей измерений скорости и угловых координат цели и разрешающих способностей по скорости и дальности при использовании непрерывных частотно-модулированных и фазокодированных сигналов;

- реализован принцип полуактивного самонаведения ракеты на цель на основе использования системы управления полётом от старта до точки встречи в бортовой аппаратуре ракеты;
- реализованы специальные методы помехозащиты в РПЦ и ГСН ЗУР, позволяющие обеспечить высокую эффективность стрельбы как по целям в условиях интенсивных помех прикрития, так и по постановщикам активных помех различных видов.

Радиолокатор подсвета цели — высокопотенциальная радиолокационная станция непрерывного излучения с частотной и фазокодовой модуляцией (манипуляцией) сигнала для селекции целей по дальности.

Радиолокатор подсвета цели состоит из антенного поста и аппаратной кабины.

РПЦ осуществляет по данным целеуказания поиск, обнаружение, захват, сопровождение и подсвет цели высокочастотным сигналом, обеспечивает вычисление координат точки встречи ракеты с целью и пуск ракет.

Аппаратная кабина содержит устройства индикации, наведения и сопровождения цели, аппаратуру управления боевыми действиями зенитного ракетного дивизиона, рабочие места операторов.

Стартовая позиция (батарея) включает шесть пусковых установок с фиксированным углом старта ракеты и обеспечивает предстартовую подготовку и старт зенитных ракет в пределах 360° по азимуту.

Управление работой стартовой позиции (батареи) осуществляется из кабины подготовки старта, где находятся аппаратура включения и контроля подготовки ракет и устройства наведения следящих систем головки самонаведения ракет на сигнал, отражённый от цели, сопровождаемой РПЦ.

Стартовая позиция (батарея) может оснащаться заряжающими машинами для автоматического заряжания пусковых установок (по две на каждую ПУ).

В системе применяется двухступенчатая зенитная управляемая ракета с четырьмя ракетными двигателями твёрдого топлива (ускоритель I ступени) и жидкостным маршевым двигателем II ступени.

При наведении ракеты на цель используется метод полуактивного самонаведения.

Ракета имеет осколочную боевую часть большой мощности, подрываемую неконтактным радиовзрывателем, функционально связанным с головкой самонаведения.

Большие скорости полёта и располагаемые перегрузки в сочетании с высоким энергетическим потенциалом канала полуактивного самонаведения обеспечивают эффективное поражение целей, в том числе маневрирующих в условиях интенсивного радиопротиводействия и на больших дальностях.

К боевому применению ракеты подготавливаются на технической позиции.

Управление работой нескольких зенитных ракетных дивизионов централизовано и осуществляется с командного пункта (КП). Два или

три (до пяти) зенитных ракетных дивизиона (ЗРДН), управляемых КП, образуют огневой комплекс.

Командный пункт оборудован аппаратурой индикации, сигнализации и связи для приёма информации целеуказания, распределения целей по ЗРДН и контроля боевых действий.

Огневой комплекс имеет возможность сопряжения с автоматизированными системами управления (вышестоящими командными пунктами).

При автономном ведении боевых действий огневой комплекс получает информацию целеуказания от РЛС кругового обзора 5Н84А и радиовысотомера ПРВ-17.

Средства системы размещаются в перевозимых прицепах и полуприцепах.

Электроснабжение средств системы осуществляется от передвижных дизель-электростанций или промышленной сети.

С-200 является всепогодной системой и может эксплуатироваться в различных климатических условиях.

В мае 1961 г. экспериментальный образец системы С-200 был развёрнут в Казахстане на полигоне под Сары-Шаганом.

22 февраля 1967 г. система С-200 была принята на вооружение.

Экспортный вариант системы С-200ВЭ («Вега») был поставлен в ряд зарубежных стран: Болгарию, Венгрию, Восточную Германию, Иран, КНДР, Ливию, Польшу, Сирию, Чехословакию.

В состав зенитной ракетной системы С-200ВЭ входят:

✓ общесистемные средства 5Ж53ВЭ:

- командный пункт К9М;
- контрольная вышка К7;
- распределительная кабина К21М;
- дизельные электростанции 5Е97.

✓ Стрельбовый канал 5Ж52ВЭ:

Радиолокатор подсвета цели 5Н62ВЭ в составе:

- антенный пост К1В;
- аппаратная кабина К2В;
- распределительная кабина К21М.

✓ Стартовая позиция 5Ж51ВЭ в составе:

- кабина подготовки старта К3В;
- пусковые установки 5П72ВЭ;
- заряжающие машины 5Ю24М;
- дизельная электростанция 5Е97.

✓ Зенитные управляемые ракеты 5В28Э, 5В21Э.

✓ Техническая позиция 5Ж61Э.

Обобщая вышеизложенное, можно отметить, что в ЗРС и ЗРК первого и второго поколения (С-25, С-75, С-125, С-200) были заложены следующие конструктивно-технические решения:

- в РЛС использовались зеркальные антенны;
- в вычислительных средствах, средствах связи и передачи данных использовалась в основном аналоговая техника;
- процессы боевой работы были автоматизированы в слабой степени;
- использовались сравнительно простые в технической реализации методы командного наведения и самонаведения ЗУР;

- ЗУР для поддержания требуемой боеготовности подвергались регламентным проверкам;
- в качестве элементной базы наземных и бортовых радиоэлектронных средств использовались ламповые и полупроводниковые схемы.

ЗРС и ЗРК первого и второго поколения могли вести эффективную борьбу с самолётами и имели ограниченные боевые возможности для поражения малоразмерных беспилотных средств нападения.

Представителем ЗРС третьего поколения является семейство мобильных многоканальных ЗРС типа С-300П.

Таблица 4. Основные характеристики ЗРС С-200ВЭ («Вега»)

Характеристики	Значение
Дальность поражения целей, км	до 240
Высота поражения целей, км – минимальная – максимальная	0,3 40
Скорость поражаемых целей, м/с	до 1200
Число одновременно обстреливаемых целей	до 5 (по числу ЗРДН)
Число одновременно наводимых ракет на каждую цель	до 2
Время готовности к стрельбе, мин. – огневого комплекса (средств системы) из дежурного режима – ракеты	1,5 0,7
Метод наведения	полуактивное самонаведение
Количество ракет в дивизионе	до 12

Семейство многоканальных зенитных ракетных систем С-300П

В 1960-е гг. происходит дальнейшее развитие средств воздушного нападения. Появились новые самолёты стратегической и тактической авиации с существенно улучшенными тактико-техническими характеристиками. Был создан новый вид СВН — стратегическая крылатая ракета АЛКМ. Она могла прорывать противовоздушную оборону объектов на предельно малых высотах, огибая рельеф местности. Кроме того, изменилась тактика воздушного нападения. Основой её стали массированные спланированные налёты пилотируемых и беспилотных средств под прикрытием разнообразных радиопомех.

В декабре 1966 г. вышло решение Комиссии Президиума Совета Министров СССР по военно-промышленным вопросам о начале работ

по созданию унифицированной зенитной ракетной системы С-300, единой для Войск ПВО, Сухопутных войск и Военно-морского флота. Была поставлена задача создания группировки огневых комплексов со средствами управления и информационно-разведывательными средствами. При этом каждый огневой комплекс обеспечивает одновременный перехват нескольких целей с наведением на каждую цель несколько ЗУР.

Система С-300П создавалась как мобильная, многоканальная зенитная ракетная система средней дальности действия, способная поражать современные и перспективные средства воздушного нападения на всех высотах.

Семейство ЗРС третьего поколения типа С-300П способно поражать аэродинамические, аэробаллистические и баллистические средства нападения, включая тактические и оперативно-тактические баллистические ракеты (БР).

Были изготовлены два варианта системы — контейнерный вариант с последующим размещением в железобетонных укрытиях на заранее подготовленных позициях и самоходный вариант. Первый вариант системы С-300П в перевозимом контейнерном исполнении был принят на вооружение Войск ПВО в 1979 г., а в самоходном варианте – в 1982 г.



Рис. 9
Пункт боевого управления
ЗРС С-300ПМУ



Рис. 10
Радиолокатор обнаружения целей
ЗРС С-300ПМУ



Рис. 11
Радиолокатор подсвета
наведения ЗРС С-300ПМУ



Рис. 12
Пусковая установка ЗРС
С-300ПМУ

При создании ЗРС С-300П были использованы новейшие достижения в области ракетной техники, радиолокации, электроники и связи:

- для радиолокатора подсвета цели и наведения ракет и радиолокатора обнаружения разработаны фазированные антенные решетки, что обеспечило гибкое управление диаграммами направленности;
- для ЗРС создан многопроцессорный вычислительный комплекс;
- впервые создана система с полной автоматизацией процессов боевой работы (обнаружения, опознавания, сопровождения, целераспределения, целеуказания, отработки целеуказания, захвата цели, её сопровождения, захвата, сопровождения и наведения ракет, оценки результатов стрельбы);
- применена твердотопливная одноступенчатая ЗУР;
- использован комбинированный метод наведения ЗУР, бинарный метод – «управление через ракету»;
- применён контейнерный метод хранения ЗУР, не требующий регламентных проверок в течение всего периода эксплуатации;
- в электронной аппаратуре широкое применение нашли интегральные микросхемы.

К сожалению, максимальную унификацию удалось обеспечить только между вариантами ЗРС С-300 для Войск ПВО и ВМФ (С-300П и С-300Ф). Сухопутный вариант С-300В в связи со специфическими требованиями поражения оперативно-тактических баллистических целей имел существенные конструктивные отличия. Эти отличия вызывались также различными эргономическими требованиями. Для Войск ПВО и для ВМФ необходимо обеспечивать длительное круглосуточное дежурство боевого расчёта на рабочих местах, что требовало больших объёмов и габаритов боевых кабин. Для Сухопутных войск важным было требование малогабаритности, компактности и высокой маршевой проходимости, что вызывало необходимость гусеничного хода, в отличие от колёсных кабин в варианте С-300П.

В начале 1990-х гг. было завершено создание принципиально новой системы С-300ПМУ1. Система поставлена ряду иностранных государств. Она способна отражать массивированные удары как современных, так и перспективных средств воздушного нападения во всём диапазоне их боевого применения и при наличии интенсивных активных и пассивных помех. Основные средства этой системы используются также и для противовоздушной обороны кораблей ВМФ.

Система С-300ПМУ1 может вести боевые действия автономно, по целеуказанию от средств управления (СУ) 8ЗМБЕ и по информации от придаваемых автономных средств целеуказания.

В состав системы входят:

- боевые средства:
- радиолокатор подсвета наведения (РПН);
- до 12 пусковых установок (ПУ);
- топопривязчик;
- зенитные управляемые ракеты;
- средства технического обеспечения системы:
- средства технической эксплуатации и хранения ракет;
- комплект эксплуатационной документации;
- ЗИП одиночный и групповой;

- средства внешнего электропитания РПН и ПУ и автономный источник электропитания;
- автомобили.

К каждой системе могут придаваться дополнительные РЛС — низковысотный обнаружитель 76Н6 и/или РЛС 36Д6 или всевысотный обнаружитель 96Л6Е.

В радиолокаторе подсвета и наведения предусмотрены следующие сектора автономного обзора (угол места \times азимут):

- $1^\circ \times 90^\circ$ — для обнаружения низколетящих целей;
- $14^\circ \times 64^\circ$, $5^\circ \times 64^\circ$ — для обнаружения аэродинамических целей на малых, средних и больших высотах;
- $10^\circ \times 32^\circ$ — для обнаружения баллистических целей.

По данным целеуказания РПН осуществляет обнаружение цели, ее захват и переход на автоматическое сопровождение. Обнаружение и захват цели выполняются автоматически. В сложной помеховой обстановке может быть использован ручной режим.

По координатной информации о сопровождаемых целях РПН автоматически определяет очередность обстрела целей и вырабатывает рекомендации по моментам пуска ракет. Разрешение на пуск ракеты даётся командиром зенитного ракетного комплекса (ЗРК). Перед обстрелом цели производится автоматическое опознавание её государственной принадлежности («свой – чужой»).

РПН захватывает и сопровождает ракеты, подсвечивает цели для обеспечения работы полуактивных радиопеленгаторов и радиовзрывателей ракет.

ЗРК может обстреливать одновременно до 6 целей. Возможен обстрел каждой цели одной зенитной управляемой ракетой или залпом из двух. В последнем случае пуск первой ракеты осуществляется оператором, второй — автоматически. Темп стрельбы — 3 сек.

Наведение ЗУР на цели осуществляется по командам РПН, передаваемым на борт ракеты. Команды наведения вырабатываются по координатам цели и ракеты, измеряемым РПН, и по данным сопровождения цели бортовым радиопеленгатором ЗУР (наведение через ракету — track-via-missile). Благодаря такому методу наведения удастся реализовать все лучшее, что есть как в командном методе наведения, так и полуактивном. Таким образом обеспечивается высокая точность наведения ракеты при работе в условиях постановки активных помех различных типов, при обстрелах групповых и низколетящих целей. На конечном участке траектории (за 1–2 сек до встречи) наведение ракеты осуществляется в основном по данным бортового радиопеленгатора.

После обстрела цели автоматически оценивается результат стрельбы и производится освобождение целевого и ракетного каналов для обстрела новой цели.

РПН работает в X-диапазоне длин волн, состоит из:

- антенного поста в составе антенного устройства, приёмо-передающей аппаратуры, аппаратуры опознавания, опорно-поворотного устройства с азимутальным датчиком углового положения;
- аппаратного контейнера в составе многопроцессорного вычислительного комплекса, процессора обработки сигналов, рабочих мест командира ЗРК и операторов боевого расчёта, аппарату-

ры связи, документирования и тренировки, средств автономного электроснабжения.

В аппаратном контейнере РПН обеспечены комфортабельные условия для работы боевого расчёта.

Пусковые установки (ПУ) обеспечивают автоматическую предстартовую подготовку и пуск ракет по командам от РПН, а также их транспортирование и хранение.

В состав ПУ входят электромеханические и гидравлические устройства для установки и подъёма в рабочее положение четырёх транспортно-пусковых контейнеров (ТПК) с ЗУР, аппаратура их подготовки и пуска, автономные средства электроснабжения.

ЗУР 48Н6Е — одноступенчатая с твердотопливным двигателем, размещается в ТПК в полностью снаряжённом виде и не требует проверок и регулировок в течение срока эксплуатации (минимум 15 лет). Стартовая масса ЗУР — 1800 кг, длина — 7,5 м. Масса ЗУР с ТПК — 2560 кг. Старт из ТПК — вертикальный, катапультный, с запуском двигателя на высоте ≈ 25 м. После старта ракета интенсивно склоняется с помощью газовых рулей. За время работы двигателя (≈ 12 с) ЗУР разгоняется до скорости 2000 м/с. Её последующий полёт совершается по инерции по энергетически выгодной траектории, при этом ЗУР может развивать с помощью аэродинамических рулей поперечные перегрузки до 20 единиц.

Ракета оснащена бортовым радиопеленгатором; бортовым радиооборудованием, обеспечивающим обмен информации по линии связи ракета – РПН; автопилотом; радиовзрывателем и боевой частью, подрыв которой осуществляется по команде от радиовзрывателя; предохранительно-исполнительным механизмом; бортовым источником питания.

Средства управления 83М6Е предназначены для управления несколькими системами С-300ПМУ1, С-300ПМУ, С-200ВЭ при общем их количестве до 6.

В состав 83М6Е входят:

- пункт боевого управления (ПБУ);
- радиолокатор обнаружения (РЛО).

Средства 83М6Е осуществляют управление системами по собственным радиолокационным данным, по данным от управляемых систем, а также по информации от средств управления 83М6Е соседних группировок и средств управления вышестоящего уровня.

ПБУ и РЛО смонтированы соответственно на автомобильном шасси и автопоезде высокой проходимости. Обладая высокой мобильностью, они могут быть развёрнуты на местности за 5 минут без предварительной подготовки позиции. Предусмотрена возможность размещения аппаратных контейнеров ПБУ и РЛО в стационарных сооружениях.

Аппаратура пункта боевого управления находится в аппаратном контейнере. В нём размещены многопроцессорный цифровой вычислительный комплекс; рабочие места операторов; аппаратура документирования боевых действий; аппаратура связи с командными пунктами вышестоящего уровня, с управляемыми системами, со средствами управления соседних группировок и с РЛО. В аппаратном контейнере ПБУ обеспечены комфортабельные условия для боевого расчёта.

ПБУ решает в автоматическом режиме следующие задачи:

- управление режимами обзора РЛО;
- завязку и сопровождение до 100 трасс целей, обнаруживаемых РЛО;
- отождествление и обобщение трасс, сопровождаемых по данным РЛО, управляемых систем, соседних и вышестоящих средств управления;
- опознавание государственной принадлежности целей;
- отбор целей для поражения и их распределение между управляемыми системами;
- выдачу целеуказания системам;
- обеспечение взаимодействия систем в сложной помеховой обстановке;
- обеспечение взаимодействия с соседними и вышестоящими средствами управления;
- документирование результатов боевых действий 83М6Е и управляемых систем;
- обеспечение тренировок боевого расчёта ПБУ автономно и совместно с боевыми расчётами управляемых систем.

РЛО работает в S-диапазоне длин волн, обеспечивая обнаружение целей и измерение их координат в условиях воздействия отражений от подстилающей поверхности, местных предметов, метеообразований, дипольных отражателей (пассивных помех) и активных помех прикрития и самоприкрития. РЛО обеспечивает также опознавание государственной принадлежности целей.

В последние годы создана наиболее совершенная модификация ЗРС этого ряда — система ПВО «Фаворит» в составе средств управления 83М6Е2 и ЗРС С-300ПМУ2.

В состав **системы ПВО «Фаворит»** входят:

- ✓ средства управления (СУ) 83М6Е2:
 - унифицированный пункт боевого управления (ПБУ) 54К6Е2,
 - радиолокатор обнаружения (РЛО) 64Н6Е2,
 - комплект одиночный запасного имущества (ЗИП-1);
- ✓ до 6 ЗРС С-300ПМУ2, каждая в составе:
 - РПН 30Н6Е2,
 - до 12 транспортно-пусковых установок (ТПУ) 5П85СЕ2, 5П85ТЕ2 с возможностью размещения на каждой четырёх ЗУР типа 48Н6Е2,
 - комплект одиночный запасного имущества (ЗИП-1);
- ✓ зенитные управляемые ракеты (аппаратурное и программное построение ЗРС С-300ПМУ2 позволяет использовать ракеты типа 48Н6Е2, 48Н6Е);
- ✓ комплекс средств технического обеспечения системы 30Ц6Е2, средства технической эксплуатации и хранения ракет 82Ц6Е2;
- ✓ комплект группового запасного имущества (ЗИП-2).

В состав системы «Фаворит» могут входить ретрансляторы 15Я6МЕ телекодовой и речевой связи для обеспечения территориального разнеса до 90 км командного пункта системы и зенитных ракетных комплексов (до двух ретрансляторов на каждое направление).

Все боевые средства системы размещаются на самоходных колёсных шасси повышенной проходимости, имеют встроенные системы автономного электропитания, связи и жизнеобеспечения. Для обеспече-

ния длительной непрерывной работы системы предусмотрена возможность электропитания от средств внешнего электроснабжения.

Предусмотрено использование средств системы в специальных инженерных укрытиях со снятием РПН, ПБУ, РЛО с самоходных шасси. При этом имеется возможность установки антенного поста РПН на вышке типа 40В6М (40В6МД) и установки антенного поста РЛО на вышке типа 8142КМ.

Обеспечивается транспортирование средств системы железнодорожным, водным и воздушным транспортом.



Рис. 13
Пункт боевого управления
ЗРС «Фаворит»



Рис. 14
Радиолокатор обнаружения целей
ЗРС «Фаворит»



Рис. 15
Радиолокатор подсвета наведения ЗРС
«Фаворит»



Рис. 16
Пусковая установка ЗРС
«Фаворит»

Система ПВО «Фаворит» обеспечивает ведение боевых действий как самостоятельно, так и во взаимодействии с вышестоящими КП (ВКП) или внешними средствами радиолокационной информации.

Ведение боевых действий самостоятельно осуществляется по совокупности информации от радиолокационных средств, входящих в состав СУ 83М6Е2 и ЗРС С-300ПМУ2, а также придаваемых системам

С-300ПМУ2 радиолокационных станций (ВВО 96Л6Е). В СУ 83М6Е2 предусмотрена также возможность управления боевой работой ЗРС С-300ПМУ1.

В результате модернизации система ПВО «Фаворит» по сравнению с ЗРС С-300ПМУ1 и СУ 83М6Е обладает следующими повышенными характеристиками:

- увеличенной дальней границей предельной зоны поражения аэродинамических целей на встречных и догонных курсах до 200 км против 150 км;
- приближённой ближней границей зоны поражения аэродинамических целей до 3 км против 5 км;
- повышенной эффективностью поражения баллистических ракет, в том числе ОТБР с дальностью пуска до 1000 км, до 0,7–0,93 против 0,5–0,7 с обеспечением подрыва боевого заряда баллистических ракет на траектории полёта;
- повышенной вероятностью поражения аэродинамических целей до 0,81–0,98 против 0,72–0,93;
- повышенной в 2 раза помехозащищённостью от активных шумовых помех прикрытия;
- повышенной автономностью ведения боевых действий ЗРС в режиме живучести за счёт придаваемого ВВО 96Л6Е;
- расширенной возможностью тренировки боевых расчётов за счёт увеличения типажа имитируемых целей и количества траекторий их полёта, а также использования учебно-тренировочного комплекса АЛТЕК-300;
- повышенными эксплуатационными и эргономическими характеристиками;
- расширенным объёмом регистрируемой информации о боевых действиях.

Указанные повышенные характеристики достигнуты в результате реализации следующих принципиально новых технических решений:

- новых процедур обзора пространства радиолокатором обнаружения в режиме секторного поиска Р02, позволяющих увеличить дальность обнаружения высокоскоростных баллистических целей;
- новых алгоритмов наведения ЗУР 48Н6Е2, обеспечивающих вывод ЗУР в такую точку прицеливания, что при срабатывании модернизированного боевого снаряжения происходит накрытие осколочным полем головных частей баллистических ракет при одновременном сокращении количества осколков, приходящих к их поверхности под малыми углами скольжения;
- оптимизации массы и увеличения начальной скорости разлёта поражающих элементов боевого снаряжения, обеспечивающих инициирование подрыва боевого заряда баллистических целей при сохранении высокой вероятности поражения аэродинамических целей;
- многоточечного инициированного подрыва боевого снаряжения, позволяющего уменьшить углы разлёта поражающих элементов в меридиональной плоскости при промахах более 10–15 м, что увеличивает вероятность поражения целей;
- независимого управления лучами основной и компенсационных антенн РПН, позволяющего осуществить автокомпенсацию по-

мех вне зависимости от углового положения сопровождаемых помехопостановщиков и увеличения дальней границы зоны поражения, отдаляющей рубеж постановки помех прикрития.

Реализация новых технических решений обеспечивается следующими доработками средств системы ПВО «Фаворит».

Доработки ЗРС С-300ПМУ2:

- ввод новой ЗУР 48Н6Е2 с модифицированным боевым снаряжением;
- ввод в аппаратный контейнер нового высокопроизводительного вычислительного комплекса «Эльбрус-90 микро» при соответствующем переводе программного обеспечения ЦВК 40У6 на язык Си. Конструктивно ВК «Эльбрус-90 микро» размещается вдоль передней стенки АК Ф2Е2 на месте, где ранее размещался ЦВК 40У6. При этом сохраняются кабельные связи между ЦВК 40У6 и штатной аппаратурой АК Ф2Е1;
- доработка программного обеспечения вычислительного комплекса «Эльбрус-90 микро» в части ввода нового терминального метода наведения, повышающего точность наведения на баллистические цели, и нового адаптивного управления боевым снаряжением, обеспечивающего эффективность их поражения, а также программ управления и наведения в расширенной части зоны поражения аэродинамических целей;
- ввод в аппаратный контейнер новых рабочих мест командира и оператора пуска, выполненных на современной элементной базе и включающих жидкокристаллические матрицы и ЭВМ «Багет-23В», обеспечивающих в том числе использование в любых сочетаниях расширенной номенклатуры ЗУР;
- замена материала излучателя ФАР РПН без доработок модуля и ФАР в целом;
- модернизация цифрового вычислителя фаз (ЦВФ), обеспечивающая реализацию нового алгоритма с независимым управлением ориентацией лучей компенсационных антенн;
- использование в РПН нового входного малошумящего СВЧ-усилителя;
- ввод в РПН новой высоконадёжной аппаратуры связи СТРС-МЕ и навигационного комплекса «Ориентир», использующего в работе спутниковый и одометрический каналы, а также радионавигационную информацию;
- ввод аппаратуры современной речевой связи (СРС) 11Я6МЕ, разработанной на базе радиостанции Р-168-25УЕ;
- использование радиолокационной информации от придаваемого ЗРС ВВО 96Л6Е;
- доработка аппаратуры антенного поста и пусковых установок, обеспечивающей реализацию перечисленных мер и повышающей надёжность ее работы.

Доработки СУ 83М6Е2:

- ✓ ввод в СУ вновь разработанного унифицированного пункта боевого управления (ПБУ) 54К6Е2;
- ✓ ПБУ 54К6Е2 унифицирован по составу аппаратуры с ПБУ 55К6Е ЗРС С-400 «Триумф» и выполнен на базе шасси «Урал-532361».
- ✓ ПБУ 54К6Е2 создан путём ввода:

- ВК «Эльбрус-90 микро» с программным обеспечением (ПО), в том числе с ПО для управления РЛО 64Н6Е2 с переводом ПО из ЦВК 40У6 контейнера Д9Е;
- унифицированных рабочих мест с использованием ЭВМ «РАМЭК» и жидкокристаллических матриц;
- модернизированной аппаратуры телекодовой связи СТРС-МЕ с возможностью передачи речевой информации;
- радиорелейной станции мм-диапазона «Луч-М48» для обеспечения радиосвязи между ПБУ и РЛО;
- аппаратуры связи 9ЗЯ6-05 для связи с РЛО, ВКП и внешними источниками радиолокационной информации;
- аппаратуры современной речевой связи (СРС) 11Я6МЕ, разработанной на базе радиостанции Р-168-25УЕ;
- документирования процессов боевой работы в ВК «Эльбрус-90 микро».

Замена цифрового вычислительного комплекса (ЦВК) 40У6 на ВК «Эльбрус-90 микро» вызвана его моральным старением. ЦВК 40У6 разработан в 1980-х гг. на базе микросхем средней интеграции и существенно уступает вычислительному комплексу «Эльбрус-90 микро» по основным характеристикам (производительности, объёму памяти, потребляемой мощности электропитания, объёму аппаратуры, надёжности).

Применяемая усовершенствованная аппаратура унифицированного ПБУ обеспечивает:

- уменьшение габаритов, массы и электропотребления по сравнению с аппаратурой ПБУ ЗРС С-300ПМУ1 в 3–4 раза;
- повышение надёжности и эксплуатационных характеристик.

Аппаратура ПБУ 54К6Е2 находится в контейнере, имеющем вдвое меньший объём, масса ПБУ 54К6Е2 в 2 раза меньше ПБУ 54К6Е ЗРС С-300ПМУ1.

Таблица 5. Сравнительные характеристики семейства ЗРС С-300ПМУ

Характеристики	С-300ПМУ	С-300ПМУ1	С-300ПМУ2
Количество: – поражаемых целей, одновременно находящихся в полёте – одновременно наводимых ракет	до 6 до 12	до 6 до 12	до 6 до 12
Зона поражения, км: аэродинамических целей: – по дальности	7–75 ракетой 5В55Р	5–150	3–200
– по высоте	7–50 ракетой 5В55К 0,025–25	0,01–27	0,01–27

баллистических целей:			
– по дальности	7–35	5–40	5–40
– по высоте	7–25	2–25	2–25
Радиальная скорость поражаемых целей, м/с	до 1160	до 2800	до 2800
Сектора автономного обнаружения (угол места × азимут), град.:			
– по низколетящим целям	1 × 105	1 × 90	1 × 90
– по аэродинамическим целям на малых, средних и больших высотах	4 × 12	5 × 64 14 × 64	5 × 64 14 × 64
– по баллистическим целям	—	10 × 32	10 × 32
Время:			
– реакции по аэродинамическим целям при целеуказании от СУ, с	9–11	9–11	9–11
– развёртывания (свертывания), мин	5	5	5
Темп стрельбы, с	3	3	3
Разрушение БЧ БР за счёт подрыва боевых частей БР	нет	нет	есть
Скорость передвижения боевых средств, км/ч:			
– по шоссе	60	60	60
– по грунтовым дорогам	40	40	40
Запас хода без дозаправки средств с учётом 2-х часов работы, км	500	500	500
Эксплуатационный срок службы, годы	10	20	20
Боевой расчёт, чел.	6	6	6

Таблица 6. Сравнительные характеристики средств управления семейства ЗРС С-300ПМУ

Характеристики	СУ 83М6Е	СУ 83М6Е2
Количество одновременно:		
– управляемых ЗРС	6	6
– обнаруживаемых целей	300	300
– сопровождаемых трасс	100	100
– целеуказаний	36	36
Инструментальная дальность РЛО, км	300	300
Зоны регулярного обзора РЛО, град.:		
– по азимуту	0–360 или 0–180	0–360 или 0–180

ЗЕНИТНЫЕ РАКЕТНЫЕ КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ

– по углу места	0–14 или 0–28	0–14 или 0–28
Сектор обнаружения баллистических целей, град.:		
– по азимуту	до 60	60
– по углу места	0–55 или 20–75	0–75
Скорость обнаруживаемых целей, м/с	до 2800	до 2800
Скорость передвижения, км/ч		
– по шоссе	60	60
– по грунтовым дорогам	30	30
Время развёртывания (свёртывания), мин	5	5
Запас хода без дозаправки, км	500	500
Эксплуатационный срок службы, годы	20	20
Боевой расчёт, чел.	6	6

Система «Фаворит» легко интегрируется в различные системы ПВО. Размеры района обороны системы ПВО «Фаворит» от ударов различных средств воздушного нападения определяются соответствующими характеристиками зон поражения ЗРС С-300ПМУ2, количеством ЗРС в составе системы ПВО «Фаворит» и их взаимным расположением на местности.

Многие специалисты считают, что российские ЗРС семейства С-300П по ряду основных тактико-технических характеристик превосходят ЗРК «Пэтриот» ПАК-3 (США) — прежде всего, по времени готовности к боевой работе с марша и времени свёртывания. ЗРС ряда С-300П — мобильные системы со временем развёртывания (свёртывания) 5 минут, тогда как ЗРК «Пэтриот» ПАК-3 является перевозимым комплексом и для него это время составляет 30 минут.

«Пэтриот» ПАК-3 существенно уступает российским системам при борьбе с крылатыми ракетами, совершающими полёты на предельно малых высотах с огибанием рельефа местности. Минимальная высота зоны поражения ЗРК «Пэтриот» ПАК-3 равна 50 м в сравнении с 10 м у С-300ПМУ, С-300ПМУ1 и С-300ПМУ2.

ЗРК «Пэтриот» ПАК-3 существенно уступает ЗРС С-300ПМУ1, С-300ПМУ2 по дальности – 100 км, 150 км и 200 км соответственно.

Значительным ограничением огневой производительности ЗРК «Пэтриот» ПАК-3 является применение пусковых установок и ракет с наклонным стартом, что требует их разворота по азимуту для проведения пуска. В ЗРС ряда С-300П ракеты стартуют вертикально, а затем склоняются в нужных азимутальных направлениях, уже находясь в полёте.

Для системы С-300ПМУ2 отработано и испытано техническое решение за счёт использования специального алгоритма наведения и оптимизированного боевого снаряжения ЗУР, обеспечивающее физическое

разрушение тактических и оперативно-тактических баллистических ракет на траекториях полёта путём инициирования их боевых частей. ЗРК «Пэтриот» такой способностью не обладает.

Наконец последнее сравнение, свидетельствующее не в пользу концепции построения зенитного ракетного оружия в США. Наземные ЗРК «Пэтриот» и корабельные ЗРК США «Иджис» не унифицированы, что затрудняет и удорожает их производство и эксплуатацию. Российские ЗРС типа С-300П имеют высокую степень унификации с корабельными ЗРС С-300Ф ВМФ РФ.

Зенитная ракетная система С-400 «Триумф»

Эффективное решение задач воздушно-космической обороны в начале XXI века привело к необходимости разработки более совершенной универсальной и унифицированной мобильной ЗРС дальнего действия и средней дальности 4-го плюс поколения С-400 «Триумф».

При создании ЗРС «Триумф» заказчик и разработчики исходили из следующих тенденций развития средств воздушно-космического нападения, определённых специализированными организациями Минобороны России:

- освоение диапазона малых и предельно малых высот полёта в зонах поражения огневых средств ПВО (менее 50–100 м), а также высот полёта от 25 до 120 км и гиперзвуковых скоростей;
- резкое снижение заметности в основных физических полях за счёт комплексного использования технологии «Стелс»;
- рост количества СВН в зонах действия средств ПВО за счёт применения беспилотных аппаратов;
- оснащение всех средств в ударах высокоэффективными средствами РЭП;
- применение высокоточного оружия;
- расширение производства и принятие на вооружение нестратегических баллистических ракет, в первую очередь тактических и оперативно-тактических, а также освоение отдельными странами выпуска баллистических ракет средней дальности.

Все средства ЗРС «Триумф» разработаны на основе новейших научно-технических достижений, с применением перспективной элементной базы и прогрессивных технологий. Все процессы боевой работы ЗРС автоматизированы.

Новыми качественными важнейшими характеристиками ЗРС «Триумф» являются:

- решение задач нестратегической ПРО, включая борьбу с БРСД, ГЗКР;
- поражение всех типов АДЦ, включая СВН «Стелс» до рубежей применения ВТО;
- использование смешанного боекомплекта ЗУР различной дальности для минимизации стоимости решения боевой задачи;
- возможность стрельбы ЗУР с ПУ соседних ЗРК, перенацеливание ЗУР в полёте;
- высокая защищённость от всех типов помех, распознавание ложных целей;

- использование базово-модульного принципа построения, позволяющего удовлетворять специфическим требованиям, предъявляемым к системам при их применении в ВВС, ВМФ и Сухопутных войсках;
- информационное сопряжение со многим типами существующих и разрабатываемых источников информации наземного, воздушного и космического базирования;
- интегрирование в существующие и перспективные системы управления группировками ПВО и ВВС, войсковой ПВО и системы ЗРО ВМФ.

В соответствии с этими принципами построения ЗРС С-400 «Триумф» создается в различных версиях (модификациях).

Остановимся на рассмотрении основных характеристик одного из вариантов экспортной версии ЗРС «Триумф».

Мобильная многоканальная ЗРС С-400 «Триумф» в экспортной версии предназначена для поражения самолётов-постановщиков помех, самолётов радиолокационного дозора и наведения, самолётов-разведчиков, в том числе входящих в состав разведывательно-ударных комплексов, стратегических самолётов-носителей авиационных ракет, крылатых ракет, тактических, оперативно-тактических и баллистических ракет средней дальности, а также других средств воздушного нападения в условиях интенсивного радиопротиводействия.

В состав ЗРС «Триумф» входят:

- ✓ средства управления ЗОКБЕ:
 - пункт боевого управления (ПБУ) 55К6Е, радиолокационного комплекса (РЛК) 91Н6Е;
- ✓ до 6-ти зенитных ракетных комплексов 98Ж6Е, каждый в составе:
 - многофункциональной РЛС (МРЛС) 92Н6Е,
 - до 12 транспортно-пусковых установок (ТПУ) типа 5П85СЕ2, 5П85ТЕ2 с возможностью размещения на каждой четырёх ЗУР типа 48Н6ЕЗ, 48Н6Е2;
- ✓ боекомплект зенитных управляемых ракет (аппаратурное и программное построение ЗРК 98Ж6Е позволяет использовать ракеты типа 48Н6ЕЗ, 48Н6Е2), также возможно применение ЗУР 48Н6Е;



Рис. 17
Пункт боевого управления
ЗРС С-400



Рис. 18
Радиолокационный комплекс
обнаружения ЗРС С-400



Рис. 19
Многофункциональная
РЛС ЗРС С-400



Рис. 20
Пусковая установка ЗРС С-400

- ✓ комплекс средств технического обеспечения системы ЗОЦБЕ, средства технической эксплуатации и хранения ракет 82Ц6МЕ2.

Все боевые средства ЗРС размещаются на самоходных колесных шасси повышенной проходимости, имеют встроенные системы автономного электропитания, ориентирования и топопривязки, связи и жизнеобеспечения. Для обеспечения длительной непрерывной работы средств системы предусмотрена возможность электропитания от средств внешнего электроснабжения.

Предусмотрено использование средств ЗРС в специальных инженерных укрытиях со снятием аппаратных контейнеров МРЛС, ПБУ, РЛК с самоходных шасси.

Основной вид связи между средствами системы – радиосвязь, обеспечивается связь по проводным и стандартным телефонным каналам.

В состав системы могут входить ретрансляторы телекодовой и речевой связи для обеспечения территориального разноса ПБУ 55К6Е и ЗРК 98Ж6Е на расстояния до 100 км, а также возимые вышки типа 40В6М(МД) для подъёма антенного поста МРЛС 92Н6Е на высоту 25(38) м при ведении боевых действий в лесистой и пересеченной местности.

Размеры района обороны от ударов различных средств воздушного нападения определяются соответствующими характеристиками зон поражения ЗРК «Триумф», количеством ЗРК в составе ЗРС и их взаимным расположением на местности.

Необходимо отметить следующие принципиально важные достоинства ЗРС «Триумф», обеспеченные аппаратурным и программно-алгоритмическим оснащением её средств.

Мобильные средства управления (СУ) ЗОК6Е состоят из ПБУ 55К6Е и РЛК 91Н6Е и предназначены для управления боевой работой:

- ✓ огневых средств:
 - ЗРК 98Ж6Е системы «Триумф»;
 - ЗРС С-300ПМУ2;
 - ЗРС С-300ПМУ1;
 - СПВО «Фаворит» (ЗРС С-300ПМУ2) через СУ 83М6Е2, ЗРС С-300ПМУ1 через СУ 83М6Е;

Таблица 7. Основные характеристики ЗРС С-400 «Триумф»

Характеристики	Значение
Максимальная инструментальная дальность обнаружения целей, км	600
Количество одновременно обнаруживаемых целей	до 300
Количество одновременно сопровождаемых целей	до 100
Количество одновременно: – обстреливаемых целей – наводимых ракет	до 36 до 72
Зона поражения: <u>аэродинамических целей:</u> – ближняя граница, км – дальняя граница, км – минимальная высота, км – максимальная высота, км <u>баллистических целей:</u> – ближняя граница, км – дальняя граница, км – минимальная высота, км – максимальная высота, км	3 250 0,010 27 5 60 2 27
Радиальная скорость поражаемых целей: – максимальная, м/с – минимальная, м/с	до 4800 0
Время развёртывания/свертывания, мин	5
Скорость передвижения боевых средств: – по дорогам с твердым покрытием, км/ч – по грунтовым дорогам, км/ч – по пересеченной местности, км/ч	до 60 до 45 до 25
Эксплуатационный ресурс боевых средств: – до капитального ремонта, час – эксплуатационный срок службы, лет	10000 20

- ЗРС «Тор-М1» через батарейный командный пункт (БКП) «Ранжир-М»;
- ЗРПК «Панцирь-С» через ведущую боевую машину или через его БКП;
- ЗРС инозаказчика – при проведении дополнительных работ по информационно-техническому сопряжению СУ ЗОКБЕ;
- ✓ радиолокационных средств:
 - дополнительно придаваемым РЛК 91Н6Е;
 - РЛС с трассовым выходом типа ВВО 96Л6Е, «Противник-ГЕ», «Гамма-ДЕ».

СУ 30К6Е обеспечивают указанные ЗРК, ЗРС и ЗРПК целеуказанием (ЦУ) по целям в зоне их боевого применения, взаимодействие (координацию боевых действий) между ЗРК, ЗРС, ЗРПК, в том числе в сложной тактической обстановке по информации от:

- собственных радиолокационных средств РЛК 91Н6Е;
- радиолокационных средств управляемых ЗРС, ЗРК, ЗРПК;
- вышестоящих командных пунктов (ВКП) российского производства типа «Байкал-Э» и др.;
- соседних СУ 30К6Е, 83М6Е, 83М6Е2;
- взаимодействующих КП збр типа «Поляна-Д4М1»;
- РЛС и средств радиотехнической разведки российского производства;
- взаимодействующих КП истребительной авиации российского производства.

По согласованию с инозаказчиком, с целью интеграции в его систему обороны, допускается проведение дополнительных работ и доработка СУ 30К6Е по информационно-техническому сопряжению со средствами ПВО инозаказчика: вышестоящими командными пунктами (ВКП), РЛС, ЗРК и другими средствами, а также средствами ПВО российского производства (ЗРПК «Панцирь-С», КП збр «Поляна-Д4М1», средствами радиотехнической разведки 1РЛ220ВЕ, «Автобаза-М», «Орион»).

ПБУ 55К6Е при управлении боевой работой огневых средств:

- вырабатывает и выдаёт команды на приведение средств в боевую готовность (БГ) и отображает их обратные донесения по БГ;
- управляет режимами работы РЛК 91Н6Е, в том числе режимами опознавания госпринадлежности целей;
- принимает, обрабатывает и отображает радиолокационную (РЛ) информацию от управляемых ЗРК, ЗРС, а также информацию от ВКП, соседних СУ, средств РЛ поля;
- решает задачу определения дальности до постановщика активных помех по пеленговой информации, поступающей от РЛК 91Н6Е и РЛ средств ЗРК (ЗРС);
- производит отбор целей для поражения, распределяет цели по ЗРК и ЗРС и выдаёт ЦУ на ЗРК (ЗРС, ЗРПК);
- управляет положением секторов боевой работы ЗРК (ЗРС, ЗРПК);
- назначает сектора (зоны) ответственности подчинённым ЗРС;
- управляет боевыми действиями и взаимодействием ЗРК (ЗРС, ЗРПК);
- обеспечивает взаимодействие ЗРК (ЗРС) в сложной помеховой обстановке;
- обеспечивает отбор целей для взаимодействующих КП;
- обеспечивает как автономную, так и совместную с ЗРК (ЗРС) тренировку лиц боевого расчёта;
- передает на ВКП информацию о целях, боевом состоянии и боевых действиях ЗРК (ЗРС), принимает и обрабатывает управляющую информацию от ВКП;
- обеспечивает взаимодействие с соседними СУ и КП радиолокационных средств, с РЛС с трассовым выходом;
- принимает и отображает РЛИ от пассивных РЛС РТР;

- обеспечивает координацию боевых действий непосредственно управляемых ЗРК (ЗРС) и средств самообороны типа ЗРС «Тор-М1» (через БКП «Ранжир-М»), ЗРПК «Панцирь-С»;
- документирует боевые действия СУ ЗОКБЕ и ЗРК (ЗРС) в процессе боевой работы или тренировки, воспроизводит зарегистрированную информацию в реальном масштабе времени на рабочих табло и индикаторах, а также выводит на печать обобщенные результаты боевой работы или тренировки.

В ПБУ 55К6Е расположены пять унифицированных рабочих мест, в том числе:

командира системы ПВО (РМКМ)	1
оператора контроля воздушной обстановки (РМКВО)	1
операторов управления огневыми средствами (РМУОС)	2
рабочее место технологического и боевого обеспечения (РМТБО)	1



Рис. 21

Общий вид унифицированных рабочих мест ПБУ 55К6Е

Индикаторы РМО — многофункциональные цветные жидкокристаллические, размером 18 дюймов, по два индикатора на каждом рабочем месте, на РМТБО — один индикатор.

Применяемая усовершенствованная аппаратура обеспечивает:

- уменьшение габаритов, массы и электропотребления по сравнению с аппаратурой ЗРС С-300ПМУ1 в 3–4 раза;
- повышение надёжности и эксплуатационных характеристик.

Аппаратура ПБУ 55К6Е находится в контейнере, имеющем вдвое меньший объём, масса ПБУ 55К6Е в 2 раза меньше аналогичного ПБУ ЗРС С-300ПМУ1. Автономное энергообеспечение ПБУ обеспечивается за счёт отбора мощности от вала двигателя шасси.

РЛК 91Н6Е предназначен для обеспечения радиолокационной информацией ПБУ 55К6Е и должен:

- обнаруживать и сопровождать аэродинамические и баллистические цели;
- определять госпринадлежность целей;
- определять пеленгационные направления на постановщики активных помех.

Для максимальной адаптации к воздушной обстановке в РЛК 91Н6А реализованы различные режимы кругового обзора. Для обнаружения высокоскоростных баллистических целей используются режимы секторного обзора, в том числе с остановленным приводом вращения антенны и наклоном ФАР.

Для обеспечения помехозащищенности в РЛК 91Н6А осуществляется анализ помеховой обстановки, электронная перестройка несущей частоты от импульса к импульсу, введены специальные высокопотенциальные режимы секторного обзора пространства.

ЗРК 98Ж6Е обеспечивает выполнение боевых задач как при управлении от СУ 30К6Е, так и при ведении автономных боевых действий. Автономные боевые действия ЗРК 98Ж6Е системы «Триумф» обеспечиваются по результатам поиска целей МРЛС 92Н6Е в секторе ответственности, а также по данным, получаемых от РЛС с трассовым выходом, придаваемой ЗРК 98Ж6Е.

МРЛС 92Н6Е решает следующие задачи:

- поиск цели по данным ЦУ или автономно, захват цели на сопровождение, в том числе в условиях воздействия активных и пассивных помех, метеообразований и отражений от местных предметов;
- контроль государственной принадлежности сопровождаемых целей;
- отбор целей на поражение, автоматическое решение задачи пуска, постановку на подготовку, пуск, захват, сопровождение и наведение ЗУР на сопровождаемые цели, обеспечение подрыва боевого снаряжения с автоматической оценкой боевой работы.

МРЛС 92Н6Е представляет собой трёхкоординатную моноимпульсную станцию с фазированной антенной решёткой проходного типа, является высокопотенциальной станцией с большими поисковыми возможностями, разнообразным набором зондирующих сигналов. МРЛС имеет возможность трассового сопровождения до 100 целей, точного сопровождения до 6 целей во всех условиях боевой работы. МРЛС 92Н6Е осуществляет автоматический обмен информацией с СУ 30К6Е.

МРЛС 92Н6А оснащена приёмно-передающей аппаратурой, обеспечивающей режимы работы с зондирующими сигналами различных типов, вычислительным комплексом «Эльбрус-90 микро», аппаратурой телекодовой, речевой и громкоговорящей связи, рабочими местами операторов.

МРЛС 92Н6А разработана как адаптируемая к конкретной целевой и помеховой обстановке с существенно расширенными автономными поисковыми возможностями за счёт:

- применения разнообразных зондирующих сигналов с разной энергетикой и длительностью;
- оперативного управления параметрами луча;
- переменного темпа обращения к целям и ракетам.

Приняты радикальные меры по улучшению качества подавления активных шумовых помех прикрития за счёт организации многоканаль-

ной автокомпенсации, ее введения в разностные каналы, угловой селекции помех прикрытия, введён канал подавления боковых лепестков, организованы специальные высокопотенциальные режимы секторного обзора.

В боекомплект ЗРС «Триумф» входят зенитные управляемые ракеты 48Н6ЕЗ (48Н6Е2), предназначенные для поражения аэродинамических и баллистических целей в широком диапазоне высот, дальностей и скоростей.

ЗУР 48Н6ЕЗ и 48Н6Е2 с дальностью полёта 250 км и 200 км имеют одинаковую компоновку и полуактивные ГСН, работающие по целям со скоростями до 4800 м/с и 2800 м/с соответственно, а также модернизированное адаптивное боевое снаряжение, специально разработанное для повышения эффективности поражения баллистических целей.

Ракеты 48Н6ЕЗ (48Н6Е2) — одноступенчатые с твердотопливным двигателем, выполненные по нормальной аэродинамической схеме, старт — вертикальный, катапультный из транспортно-пусковых контейнеров (ТПК).

В состав ракет 48Н6ЕЗ (48Н6Е2) входят:

- твердотопливный двигатель с пиротехническими средствами воспламенения;
- бортовое оборудование сопровождения цели, включая полуактивную головку самонаведения (ГСН);
- бортовое оборудование, обеспечивающее обмен информацией по линии связи ракета — МРЛС;
- автопилот;
- боевая часть (БЧ) и радиовзрыватель (РВ);
- предохранительно-исполнительный механизм (ПИМ);
- бортовой источник питания.

Таблица 8. Основные характеристики ракет 48Н6ЕЗ (48Н6Е2)

Характеристики	48Н6Е2	48Н6ЕЗ
Максимальная дальность поражения, км	200	250
Максимальная скорость поражаемых целей, м/с	2800	4800
Габаритные размеры, мм:		
- длина	7500	7500
- диаметр	515	515
Масса ракет, кг	1888	1888
Масса боевой части ЗУР, кг	180	180
Максимальная скорость ЗУР, м/с	2000	2000
Эксплуатационный срок, лет	15	15

Транспортно-пусковые установки типа 5П85СЕ, 5П85ТЕ обеспечивают размещение, хранение, транспортирование, автоматическую предстартовую подготовку и пуск ЗУР из транспортно-пусковых контей-

неров (ТПК), а также передачу на МРЛС информации о состоянии ТПУ и ракет. На одной ТПУ 5П85СЕ, 5П85ТЕ размещается до 4-х ЗУР 48Н6ЕЗ (48Н6Е2).

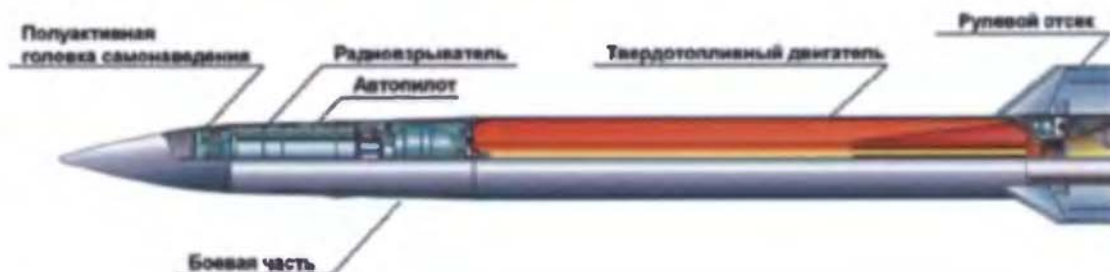


Рис. 22
Компоновка ЗУР 48Н6Е2(ЕЗ)

Если сформулировать достоинства рассмотренной экспортной версии ЗРС С-400 «Триумф» в сравнении с ЗРС типа С-300ПМУ1, то они состоят в следующем:

- расширен класс поражаемых целей до скоростей полёта 4800 м/с (баллистических ракет средней дальности с дальностью полёта до 3000–3500 км);
- существенно увеличены зоны поражения малоразмерных целей и целей типа «Стелс» (на 50% по дальности поражения) благодаря увеличению энергетического потенциала РЛК 91Н6Е и МРЛС 92Н6Е;
- существенно повышена помехозащищённость системы путём внедрения новых средств помехозащиты;
- существенно повышена надёжность, уменьшены объём и энергопотребление средств системы в результате применения наиболее совершенной радиоэлектронной аппаратуры, нового оборудования для автономного электроснабжения, новых транспортных средств.

Постановлением Правительства РФ от 28 апреля 2007 г. система С-400 принята на вооружение ВС РФ. Первый серийный образец ЗРС С-400 поставлен на боевое дежурство 6 августа 2007 г. в районе г. Электросталь Московской области.

Единая система зенитного ракетного оружия ПВО-ПРО пятого поколения

С целью сокращения номенклатуры разрабатываемого зенитного ракетного вооружения, повышения межвидовой унификации боевых средств, снижения затрат на оснащение сил войск и флота средствами ПВО и их содержание, а также снижения потребной численности личного состава в Вооруженных силах РФ ОАО «ГСКБ «Алмаз-Антей» работает над созданием перспективной единой системы ЗРО ПВО-ПРО пятого поколения (ЕС ЗРО).

Создание перспективной ЕС ЗРО пятого поколения осуществляется на основе следующих принципов.

Для сокращения затрат на разработку и оснащение войск перспективными ЗРС реализуется концепция базово-модульного принципа построения ЕС ЗРО, позволяющая при минимальном типаже (базовом наборе) входящих в неё средств (модулей) оснащать различные по назначению и видовой принадлежности формирования ПВО (ВКО).

Высокая эффективность и боевая устойчивость систем ЗРО в условиях прогнозируемого огневого и радиоэлектронного подавления обеспечиваются за счёт возможности оперативной реконфигурации в зависимости от складывающейся оперативно-тактической обстановки, а также обеспечения манёвра огневыми и информационными ресурсами.

Многофункциональность системы заключается в возможности борьбы с различными типами целей: аэродинамическими (в том числе загоризонтными), аэробаллистическими, баллистическими. При этом обеспечиваются не только поражение огневыми средствами, но и снижение эффективности их воздействия путём применения соответствующих средств из состава единой системы средств защиты.

Межвидовая и внутрисистемная унификации позволяют значительно сократить номенклатуру разрабатываемого зенитного ракетного, радио- и оптико-электронного вооружения и применять в ЗРВ ВВС, войсковой ПВО и ВМФ одни и те же средства (модули) из состава ЕС ЗРО. Необходимый тип шасси для средств системы определяется с учётом физико-географических особенностей района возможного применения, развитости дорожной сети и других факторов.

С учётом специфики применения зенитного ракетного вооружения на надводных кораблях ВМФ (качка, воздействие морской волны, повышенные требования к взрыво- и пожаробезопасности, сложная система хранения и заряжания ракет и др.) средства ЕС ЗРО для ВМФ должны разрабатываться в специальном исполнении. Однако и при этом уровень унификации средств ЗРС должен составить не ниже 80–90% и быть обеспечен за счёт использования единой элементной базы, полной унификации ракет, вычислительных средств и радиолокационной аппаратуры, автоматизированных рабочих мест, средств связи и других элементов.

Мобильность обеспечивает возможность ведения частями, подразделениями, оснащёнными средствами ЕС ЗРО, маневренных боевых действий без потери связи и управления, развёртывание в боевой порядок с марша на неподготовленных позициях и приведение их в боевую готовность без прокладки кабельных линий связи и электропитания.

Интеграция со средствами РЭБ, авиационными комплексами и использование элементов сетевой структуры построения обеспечивает получение информации от различных источников и обмен данными между потребителями системы, а также своевременную выдачу целеуказаний на необходимые средства поражения и противодействия в реальном масштабе времени.

Система обладает высокой эксплуатационной надёжностью и конкурентоспособностью на мировом рынке, высоким экспортным потенциалом.

Учитывая то, что замена зенитного ракетного вооружения на средства ЕС ЗРО будет осуществляться поэтапно, данная система должна обладать свойством управления и информационного обеспечения ЗРС и ЗРК ранних разработок без дополнительной доработки их средств,

а также свойством адаптации в сложившуюся структуру любой зоны (района) ПВО (ВКО) без предварительной организационно-технической подготовки.

ГСКБ «Алмаз-Антей» является разработчиком ЕС ЗРО в целом, начиная от тактико-технического задания до выпуска документации, которая является общесистемной, разрабатывает командные пункты систем, многофункциональные радиолокаторы ЗРК, аппаратуру стартовой автоматики для пусковых установок, радиоэлектронную аппаратуру ЗУР. ГСКБ «Алмаз-Антей» самостоятельно разрабатывает программно-алгоритмическое обеспечение указанных средств. В кооперацию, сложившуюся за десятилетия, входят машиностроительное КБ «Факел» — головной разработчик зенитных управляемых ракет, НИИ измерительных приборов — разработчик радиолокаторов обнаружения для командных пунктов систем, КБ специального машиностроения — разработчик пусковых установок, а также ряд других широко известных фирм, работающих в области военной техники ПВО.

Разработка систем и комплексов ЕС ЗРО (ЗРС, ЗРК, ПБУ, КСА и входящих в их состав элементов и модулей) в настоящее время ведётся с учётом основных требований, предъявляемых к создаваемым образцам в части минимизации типажа и унификации, предусматривающих использование в том числе:

- единой транспортной базы с кузовами-контейнерами (кузовами-фургонами);
- унифицированных электронных модулей и блоков в составе РЛК, РЛМ, ППМ;
- унифицированных электронных элементов, печатных плат и датчиков при создании всего типажа ЗУР;
- унифицированных рабочих мест операторов, начальников смен и расчётов (КП, ПБУ, КП МФР);
- унифицированных средств вычислительной техники и других технических средств, преимущественно с использованием перспективных отечественных технологий (ЭВМ ряда «Эльбрус»);
- унифицированных средств общего и общесистемного программного обеспечения на основе базовых информационных защищенных компьютерных технологий (БИЗКТ);
- унифицированных аппаратно-программных средств защиты информации от несанкционированного доступа и технических средств разведки иностранных государств на базе БИЗКТ, объединенных в комплексную систему защиты информации, адаптивную к условиям функционирования зенитных ракетных систем и комплексов;
- унифицированных интерфейсов пользователей и видеомоделей отображения;
- унифицированных средств связи, передачи данных и телекоммуникаций.

При создании ЕС ЗРО ПВО-ПРО пятого поколения используются следующие новые технические решения и технологии:

- ✓ активные ФАР в радиолокаторах ЗРС;
- ✓ унификация устройств в средствах системы (приёмных и передающих модулей, устройств обработки сигналов, компьютеров, рабочих мест, шасси);

- ✓ автоматизация процессов боевой работы, функционального контроля и поиска неисправностей;
- ✓ встроенные каналы радиотехнической разведки;
- ✓ применение:
 - комплекса РЭБ для подавления бортовых РЭС СВН;
 - базово-корреляционных методов определения координат постановщиков активных помех;
- ✓ создание ЗУР:
 - с активно-полуактивной ГСН для поражения приоритетных целей на средних и больших дальностях;
 - с оптико-электронной ГСН и газодинамическим управлением для поражения баллистических ракет на больших высотах;
 - с инерциально-активным наведением на траектории и высокоточным газодинамическим управлением на конечном участке траектории.

Для создания АФАР должны быть освоены новые технологии:

- ✓ создание:
 - арсенид-галлиевых гетероструктур на пластинах диаметром до 100 мм;
 - технологии производства монокристаллических СВЧ-микросхем на арсенид-галлиевых и кремниевых полупроводниковых структурах с технологическими нормами 0,13 мкм;
- ✓ разработка:
 - широкозонных полупроводниковых структур (нитрид галлия) для монокристаллических интегральных схем СВЧ;
 - технологии получения высокотемпературных подложек для GaN-структур на основе монокристаллического карбида кремния (SiC) и алмаза.

Для создания средств цифровой обработки сигналов и вычислительных комплексов должны быть освоены новые технологии производства:

- АЦП, ЦАП с частотами до 200 МГц, количеством разрядов до 14–16;
- матричных сигнальных процессоров с производительностью до 10 Гфлоп/с;
- модулей памяти с быстродействием до 5 нс, ёмкости до 200 Мбайт;
- шин и контроллеров обмена со скоростью до 2 Гбайт/с.

Для создания ЗУР должны быть освоены новые технологии:

- ✓ производства:
 - планарных АФАР мм-диапазона;
 - матричных фотоприемников ИК + УФ-диапазонов;
- ✓ создания и производства:
 - композиционных материалов из углепластика, обладающих высокой изгибной жёсткостью, для высокопрочных корпусов ракет и РДТТ, смесевых твёрдых ракетных топлив для маршевых ступеней ракет с низкой зависимостью скорости горения от ускорения;
 - ТТ двигателей многократного включения (с регулируемой величиной паузы) и низкотемпературных смесевых твёрдых ракетных топлив;
 - реактивных двигателей управляемой тяги для поперечного управления ЗУР, работающих в импульсно-непрерывном режиме с высоким быстродействием (порядка 0,05–0,025 с);

- оптических и радиопрозрачных термостойких обтекателей ЗУР;
- СБЧ со сверхмалым тротиловым эквивалентом и режимами подрыва: ядерным или фугасным;
- ОФБЧ с регулируемой скоростью потока поражающих элементов в направлении на цель.

ДИАЛЕКТИКА РАЗРАБОТОК АППАРАТУРЫ И ПРОГРАММНО-АЛГОРИТМИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ СИСТЕМ ЗЕНИТНОГО РАКЕТНОГО ОРУЖИЯ

Антенные устройства

Основное назначение радиолокационных антенн зенитных ракетных систем — излучение генерируемых передатчиком электромагнитных волн, их приём после отражения от цели и формирование передающего и приёмного лучей с характеристиками, обеспечивающими обнаружение и сопровождение целей и наведение на них ракет.

Антенны — наиболее приметная часть радиолокаторов, их «визитная карточка». Они не поддаются минимизации в отличие от электронных узлов РЛС, в соответствии с физическими законами они должны иметь как можно большие размеры апертуры, чтобы обеспечить высокие энергетические характеристики РЛС.

Разработчики антенны при работе над первой зенитной ракетной системой С-25 (1950–1955 гг.) продемонстрировали свои незаурядные творческие способности. Даже в настоящее время, когда освоена технология антенных фазированных решёток (ФАР) с электрическим качанием луча, требования к антенной системе ЗРС С-25 по обеспечению сопровождения 20 целей и одновременного наведения 20 ракет в широком угловом секторе $60^\circ \times 60^\circ$ впечатляют.

Азимутальная и угломестная антенны — «визитные карточки» ЗРС С-25 — внешне выглядели необычно: каждая представляла собой пару насаженных на одну ось огромных треугольных «блинов» с округлёнными вершинами, имевших габаритные размеры около 8 м. Одна пара «блинов» ориентировалась вертикально, другая — с наклоном 30° к горизонтальной плоскости. Каждая пара формировала 6 радиолокационных лучей.

Восьмиметровые махины-«блины» вращались со скоростью 40 оборотов в минуту и обеспечивали шестью лучами выполнение требования по частоте обращения РЛС к цели 5 Гц. Новым и весьма важным узлом, реализованным в антенне, был волноводный переключатель, позволивший поочередно осуществлять работу с каждым из 6 лучей.

Разработкой антенной системы для С-25 в целом руководил Г.В. Кисунько, впоследствии генеральный конструктор системы ПРО А-35.

Перебазируемый ЗРК С-75 (1953–1958 гг.) потребовал совершенно нового подхода к разработке азимутальной и угломестной антенн, чтобы удовлетворить требованиям компактности и транспортируемости. Можно было бы идти уже проторенной дорогой — за основу взять антенну параболического типа. Однако для ЗРК С-75 с целью наилучшего удо-

влетворения предъявляемым техническим требованиям был выбран совершенно новый и не освоенный нигде в промышленности (ни у нас, ни за рубежом) тип сканирующих антенн на основе так называемых металловоздушных линз. Описание принципа работы таких антенн было известно из литературы, но от описания до реализации и серийного производства — дистанция огромного размера.

Потребовалось, с одной стороны, провести большой объём теоретических исследований, связанных с физикой распространения радиоволн между искривлёнными параллельными металлическими поверхностями, с другой — решить проблему технологии изготовления подобных сложных элементов антенн в заводских условиях. О сложном виде металлических поверхностей, образующих антенну, можно судить хотя бы по тому, что они преобразовывали кольцевую щель на их входном срезе, возбуждаемую вращающимся облучателем, в выходную апертуру в виде длинной линейной щели. Конфигурация поверхностей была подобрана таким образом, что изменение положения облучателя внутри кольца приводило к эффекту одномерного сканирования лучом.

Азимутальная и угломестная антенны для ЗРК С-75 являлись оригинальными как по замыслу, так и по исполнению. Необходимо также отметить, что в антенной системе ЗРК С-75 впервые были использованы достижения нового нарождающегося направления, связанного с техникой СВЧ ферритов. Благодаря успешному освоению этого направления было реализовано нетрадиционное высокотехнологичное решение проблемы развязки между приёмным и передающим каналами каждой из сканирующих антенн за счёт применения нового для того времени устройства — ферритового циркулятора.

Такого же типа антенны для одномерного сканирования в двух перпендикулярных плоскостях, что и в ЗРК С-75, были реализованы в ЗРК С-125 с модификацией формы металловоздушной линзы и изменением ориентации линейных раскрывов антенн. Так как в класс поражаемых системой С-125 воздушных целей входили и низколетящие, когда особенно сильно проявляется негативное влияние отражённых от земной поверхности радиоволн, для ослабления этого влияния линейные апертуры антенн были повернуты на 45° по отношению к вертикальной плоскости.

Снова возвращение к антеннам на основе параболических зеркал, но уже на совершенно новом качественном уровне произошло при разработке ЗРС С-200 (1958–1967 гг.). Антенная система радиолокатора сопровождения и наведения по внешнему виду не похожа ни на одну из антенных систем предыдущих разработок: внушительных размеров передающая антенна (5×3 м), несколько меньшая ($2,8 \times 3$ м) приёмная, между ними вертикальный экран, к которому снизу примыкает горизонтальный.

На выбор типа конструкции антенн повлияли, прежде всего, два обстоятельства. Во-первых, требование обеспечения высокого потенциала радиолокатора — этим обусловлен выбор антенн в виде вырезов из параболоидов, формирующих узкие в двух плоскостях лучи. Во-вторых, жесточайшее требование к развязке между приёмной и передающей антеннами для решения новой радиолокационной задачи — обеспечения приёма сигнала большой длительности от цели во время его излучения. Эта задача решалась за счёт применения вертикального и горизонтального экранов: вертикального — для исключения непосредственного

попадания сигнала передающей антенны в приёмную, горизонтально-го — для защиты приёмной антенны от сигнала обратного рассеяния от участка земной поверхности, находящегося непосредственно под антенной системой.

В системе С-200 разработчики антенн реализовали как в наземном радиолокаторе, так и в головке самонаведения (ГСН) ракеты приёмные антенны с моноимпульсным типом пеленгации и больше не возвращались при разработке РЛС других ЗРС к менее перспективному и инерционному способу пеленгации, основанному на коническом сканировании. Причем конструкция моноимпульсной антенны ГСН была оригинальной и настолько удачной, что, обогнав на два десятка лет зарубежные разработки, использовалась и в бортовой аппаратуре других ЗРС.

Для решения поставленных перед ЗРС С-300П задач наиболее подходили антенны, выполненные на базе фазированных антенных решёток (ФАР).

Было разработано два варианта антенной системы для РЛС сопровождения и наведения ряда ЗРС С-300П. В первом варианте (ЗРС С-300ПМУ) сменной единицей в многоэлементной ФАР был антенный элемент, во втором варианте (ЗРС С-300ПМУ1, С-300ПМУ2) — модуль из 16 антенных элементов.

Отметим новые технические решения, которые были использованы в ФАР. Впервые в практике создания серийных ФАР для ЗРС был осуществлен переход на модульный принцип их комплектования, когда сменной единицей является не один антенный элемент, а их группа, объединённая конструктивно в единый модуль, что позволило существенно повысить надёжность ФАР и снизить её стоимость.

Был разработан уникальный антенный элемент с ферритовым фазовращателем, имеющий высокие технические параметры и отличающийся технологичностью и низкой стоимостью серийного производства. Как отмечалось в зарубежной литературе, это один из трёх антенных элементов в мире с тиражом выпуска, превысившим 1 млн экземпляров (два других — американские для систем «Пэтриот» и «Иджис»).

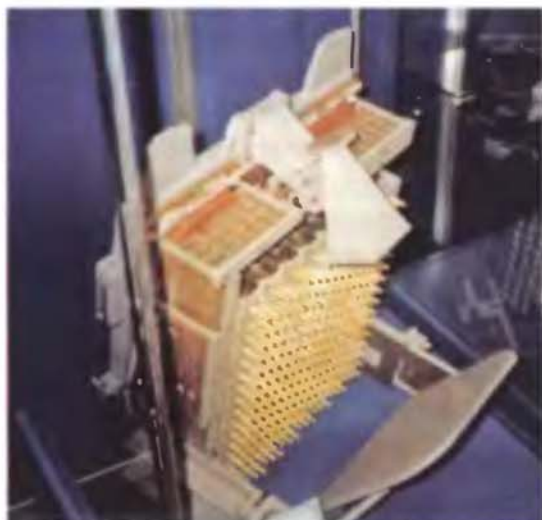


Рис. 23

Антенна компенсации помех и захвата ракет РЛС сопровождения и наведения ЗРС С-300ПМУ2

В антенном элементе для управления фазовращателем используется самая совершенная микросхема управления, объединившая в одном корпусе слаботочную логическую часть с мощными токовыми ключами. За рубежом аналогичная микросхема появилась через 8 лет.

В системе электрического управления лучом ФАР реализован наиболее прогрессивный принцип поэлементного управления, благодаря которому удалось получить предельную точность установки луча в заданное направление, минимизировать боковые лепестки и оптимальным образом решить задачу управления формой луча, сняв ограничения, присущие строчно-столбцовому принципу управления.

Доведение до практических результатов задачи управления формой луча потребовало разработки нового направления в теории ФАР — фазового синтеза антенных решеток. Судя по известной отечественной и зарубежной литературе, первые публикации по этому вопросу и первые результаты практической реализации принадлежат разработчикам семейства ЗРС С-300П.

Разработчики решили также ряд сложных проблем по созданию бортовых антенн для ракет, используемых в системе С-300П: проведены глубокие исследования по оптимизации характеристик системы «антенна ГСН — радиопрозрачный обтекатель», их результаты нашли практическое применение; разработана методология проверки системы «антенна ГСН — обтекатель» в условиях серийного производства; при разработке бортовых антенно-фидерных устройств для радиолокации «наземный радиолокатор — ракета» решена сложная проблема обеспечения надёжной связи при изменении ориентации ракеты и наличии плазменных образований в районе факела двигателя.

Основные решения, найденные при создании антенных систем РЛС сопровождения и наведения ЗРС ряда С-300П, были развиты в системе ЗРС С-400 «Триумф». В ФАР для ЗРС «Триумф» введён ряд новшеств, направленных на её усовершенствование. В мировой технической литературе пошёл на сотни счёт статья по проблеме адаптивных антенных решеток, автоматически формирующих нули приёмной диаграммы направленности в направлении на помехи. Однако за рубежом не удалось до сих пор создать адаптивную многоэлементную ФАР (с числом антенных элементов порядка нескольких тысяч и более), в то время как ФАР для ЗРС «Триумф» обладает широкими возможностями адаптации в помеховой обстановке.

Созданные антенны для разработанных радиолокационных комплексов ЗРС свидетельствуют об их высоком научно-техническом уровне.

За высокие достижения в разработке антенной техники для ЗРС С-300ПМУ и С-300ПМУ1 разработчикам-антенщикам присвоены звания: лауреатов Государственной премии — А.А. Леманскому и В.А. Кашину, лауреата премии Правительства РФ — Ю.Г. Гращенко.

Передатчик

Передатчик — источник мощного зондирующего сигнала радиолокатора. Главные параметры зондирующего сигнала — это мощность, частота, стабильность частоты и отношение сигнал/шум в полосе анализа приёмника. Зондирующий сигнал может быть непрерывным (монокроматическим) или модулированным по амплитуде (импульсным), а также по частоте или фазе. Для лучшего обнаружения целей, в том числе в поле помех, применяются весьма сложные виды модуляции.

Существенное значение имеют массогабаритные характеристики передатчика, КПД, надёжность и т. д. Если к тому же учесть, что в передатчике используются все виды электрических сигналов — от постоянного тока до сверхвысоких частот уровнем от микровольт до десятков киловольт, то становится понятно, что конструирование, производство и эксплуатация передатчиков — это отдельный большой раздел радиотехники.

Для первой системы ПВО С-25 в 1950-х гг. передатчик на базе мощных генераторных ламп проектировался на предприятии академика А.Л. Минца.

В КБ-1 создавались передатчики команд для стрельбовых каналов. Большой вклад в разработку передатчиков зенитных ракетных систем внесли ведущие предприятия электронной промышленности, разрабатывавшие элементную базу для создания передатчиков: генераторные и модуляторные лампы, магнетроны, клистроны, лампы бегущей волны, разрядники, защитные устройства, генераторы шума и т. д. Это предприятия «Исток» (г. Фрязино Московской области), «Светлана» (г. Ленинград), «Торий» (г. Москва) и другие.

Темпы развития отрасли в целом и передатчиков в частности открывали новые горизонты и ставили перед разработчиками всё новые задачи. Уже в конце 1950-х и начале 1960-х гг. во многих устройствах лампы заменялись на полупроводники, что сразу сказалось на облике аппаратуры: габариты уменьшились, упало энергопотребление, а надёжность повысилась.

С интервалом в два-три года ставились задачи по проектированию передатчиков для новых систем: С-75, С-125, С-300П и т. д.

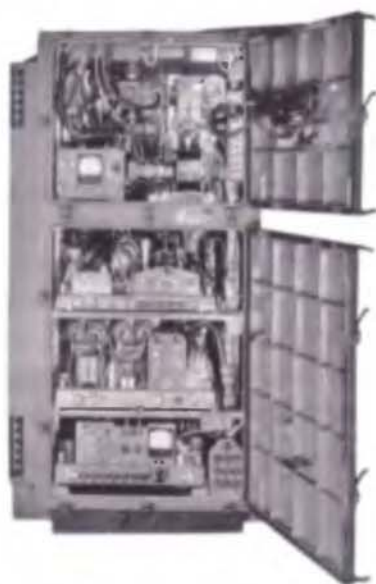


Рис. 24
Передатчик канала визирования
цели ЗРК С-125

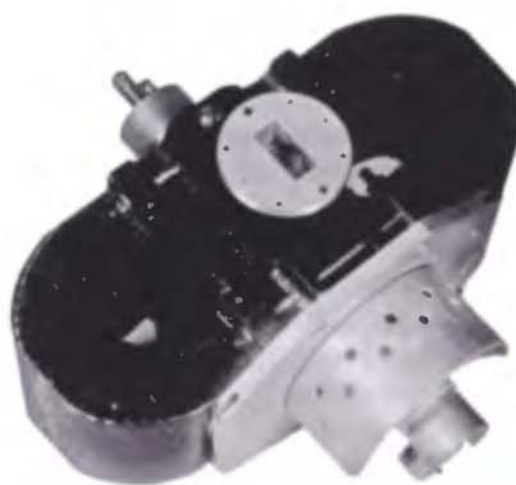


Рис. 25
Магнетрон передатчика ЗРК С-125

В системе С-200ВЭ возбудитель передатчика обладал уникальными свойствами по уровню сигнал/шум, хотя это очень усложнило его конструкцию.

Много технической выдумки и труда вложено разработчиками в конструирование и доводку двухканального передатчика для системы С-300П. В это время началась эра применения микросхем, что позволило подняться на следующий уровень по конструированию систем контроля и управления передатчиком. Были и неудачи: первые твердотельные усилители СВЧ на лавинопролётных диодах часто отказывали; были и достижения за счёт введения дополнительных видов модуляции сигнала.

ла. Сегодня вся система управления и контроля передатчиком строится на базе программируемых интегральных логических схем (ПЛИС) и контроллеров, производится замена ламп в модуляторах на высоковольтные быстродействующие элементы (транзисторы) и аналоговых источников вторичного электропитания на управляемые с широтно-импульсной модуляцией, применяются схемы на базе ПАВ генераторов и объёмных миниатюрных керамических фильтров. Всё это способствует разработке более качественных и надёжных передатчиков.

СВЧ приёмные устройства

Разработка многоцелевых радиолокаторов с широкоугольным секторным сканированием, воспринимающих приём большого числа целей, а также ответчиков наводимых на эти цели ракет, начатая в КБ-1 в 1950-е гг., осуществилась в системе ПВО С-25 — первой в мире многоканальной зенитной ракетной системе в составе центрального радиолокатора наведения (ЦРН) с управляемыми со стартовых столов ракетами.

А.А. Расплетин, стоявший в это время во главе тематического радиолокационного отдела, дал идею и основное направление разработки зенитного ракетного комплекса, одновременно осуществляя связи со смежными разработчиками. Работы по созданию антенных и СВЧ приёмных устройств ЦРН возглавил Г.В. Кисунько.

Многофункциональное построение ЗРК потребовало создания многоканальных приёмных устройств, работающих с одного антенного выхода и нормирующих сигналы, принимаемые радиолокатором наведения как по целевым каналам, так и по каналам приёма сигналов ответчиков ракет. С этой целью был разработан входной приёмораспределитель сигналов цели и ответчиков на СВЧ. Защита многоканального входа осуществлялась разрядниками блокировки магнетрона и защиты приёмника. С целью уменьшения влияния входных потерь на чувствительность СВЧ приёмника впервые в стране были проведены работы по созданию СВЧ усилителя на лампе бегущей волны УВ-1. Работы проводились в НПП «Исток» г. Фрязино и курировались КБ-1.

В СВЧ приёмнике также были спроектированы системы автоматической подстройки частоты гетеродина цели при уходах частоты передатчика АПЧК, стабилизации частоты гетеродина каналов ответчика ракет СЧК и контроля парам приёмника.

В небывало быстром темпе были разработаны отраслевые устройства и состыкованы в составе экспериментального образца — прообраза будущей станции наведения С-25. По СВЧ приёмнику в то время было много вопросов. Отмечались



Рис. 26
Шкаф ПЧ усилителей и контроля
ЗРС С-25

малая чувствительность приёмника, очень большое время восстановления парам после окончания зондирующих импульсов передатчика, возбуждались системы АПЧК и СЧК.

Вопрос повышения чувствительности приёмника был первоочередным. Разработчики сформулировали, согласовывали и скорректировали требования к новому типу малошумящего усилителя (МШУ) — лампе бегущей волны УВ-1. Однако первые образцы ЛБВ УВ-1 были внедрены только в опытном образце СВЧ приёмника.

Значительное время восстановления приёмника, не дававшее возможности уверенной работы станции на малых дистанциях, в экспериментальном образце определялось параметрами вакуумных разрядников защиты приёмника и блокировки магнетрона, разработкой которых занималось Ленинградское КБ на базе предприятия «Светлана». Были рассмотрены пути улучшения парам разрядников применительно к условиям работы передающих и приёмных трактов станции. В результате уже следующие образцы разрядников имели лучшие параметры.

В подготовленном к промышленному выпуску опытном образце СВЧ приёмника были учтены некоторые недостатки экспериментального образца.

Во время стыковочных работ на опытном образце станции проходила и доводка отдельных устройств аппаратуры. Применённая в опытном образце СВЧ приёмника в качестве входного усилителя лампа бегущей волны УВ1 часто возбуждалась из-за реактивности её нагрузки (четыре приёмных канала ответчиков ракет и канал приёма сигналов цели, работающие на разных частотах). В жёстких условиях полигонных испытаний была найдена и отработана специальная методика настройки, обеспечившая устойчивость её работы. Были произведены доработки систем АПЧК и СЧК. Расширены полосы и увеличена скорость захвата частот гетеродинов при их непредвиденных уходах, особенно за счёт бросков питающих напряжений на станции.

Следующим поколением РЛС, созданным на основе идеи С-25, были РЛС перевозимых ЗРК С-125 и С-75 (в 10- и 6-сантиметровом диапазоне волн). Особенно много трудностей было преодолено при разработке аппаратуры 6-сантиметрового диапазона.

Были заново созданы все электровакуумные приборы СВЧ приёмника: ЛБВ, клистроны, разрядники. Выбрано компактное частотное распределение сигналов целей и ответчиков ракет в рабочем диапазоне частот станции со значительной отстройкой зеркальных каналов, разработана более совершенная схема согласованного многоканального входа приёма сигналов в широком диапазоне частот. Были спроектированы быстро перестраиваемые элементы СВЧ приёмника, обеспечившие работу станции при постановке противником активных помех, система быстрой автоподстройки частот клистроновых гетеродинов канала цели, обеспечивающая требования введённого режима селекции движущихся целей, а также система автоподстройки магнетрона для быстрой подстройки несущей частоты станции ($< 0,2$ с) после скачка на новый номинал. Была реализована неискажённая передача аналоговых целевых сигналов через вращающееся соединение кабины в аппаратный контейнер. Предусмотрено устройство предбоевого контроля потенциала станции по длительности ударного колебания эталонного резонатора, подключаемого на вход СВЧ приёмника.

Особенно трудной была разработка ЛБВ типа УВ-9. Предприятие НПП «Исток» после многочисленных согласований и доработок осуществило выпуск этого прибора с хорошими техническими показателями. Разрядники создавались разработчиками ОКБ завода «Светлана». Климатонами занимался коллектив сотрудников НПП «Исток».

Первая РСН-75 10-сантиметрового диапазона была отправлена на испытания в Капустин Яр уже в 1956 г., а в следующем году туда был направлен и опытный образец 6-сантиметрового диапазона. Достаточно быстро и

успешно были проведены стрельбовые испытания, что позволило приступить к его серийному изготовлению и передаче воинским частям.

По окончании работ по созданию ЗРК С-75 разработчики занялись новой зенитной ракетной системой большой дальности действия С-200. Радиолокатор С-200 разрабатывался с антенно-приёмной системой, работающей по принципу мгновенной равносигнальной зоны. В ЗРС были введены радиолокатор подсвета цели РПЦ и полуактивная головка самонаведения ракеты на цель ГСН.

СВЧ приёмники проектировались многоканальными, обеспечивающими приём сигналов с антенной системы по суммарному и разностным каналам, способными принимать и передавать на обработку широкополосные сигналы, разрешающие цели по скорости и дальности.

В С-200 для наведения на цель разрабатывалась ракета с полуактивной головкой самонаведения. Был разработан бортовой многоканальный приёмный СВЧ модуль, включающий, кроме суммарного и угломестных, два канала радиовзрывателя, расположенного на гиросtabilизированной платформе. Усилиями коллектива разработчиков одновременно с наземным СВЧ приёмником был спроектирован и запущен в производство новый бортовой СВЧ приёмный модуль, обеспечивший параметрическую стабилизацию характеристик каналов в широком частотном и температурном диапазонах работы.

Были трудности в отработке этого нового направления работы, в переработке СВЧ гетеродина и бортового СВЧ приёмного модуля в условиях реальных вибраций аппаратуры. В результате государственные испытания были несколько затянуты. Испытания закончились в Сары-Шагане в 1966 г., а в 1967 г. система была передана на вооружение Советской Армии.

Успехи микроэлектроники, вычислительной техники, развитие антенных фазированных решёток привели к созданию мобильной унифицированной многоканальной системы нового поколения ряда С-300П.

Усилиями разработчиков были обеспечены очень высокие, а на том этапе уникальные характеристики как наземных, так и бортовых СВЧ приёмных устройств, в том числе:



Рис. 27

Приемо-передающая и антенная система радиолокатора наведения РСН-75В4

- максимальная электрическая прочность входов приёмников, достигающая десятка киловатт импульсной мощности и сотен ватт непрерывной;
- сверхбыстрое время восстановления после зондирующего импульса, не превышающее сотых долей микросекунды;
- расширенный на порядки верхний предел динамического диапазона принимаемых сигналов при достаточно малом коэффициенте шума;
- низкие модуляционные шумы приемника;
- длительная стабильность амплитудно-фазочастотных характеристик каналов;
- подавление побочных и зеркальных каналов, а также помех, проходящих по боковым лепесткам диаграммы направленности антенны.

В заключение можно отметить, что от разработки к разработке происходила непрерывная эволюция развития СВЧ приёмников. Она прошла следующие этапы:

- разработка волноводных и полосковых схем и конструкций;
- разработка многоканальных СВЧ приёмников, работающих с единого выхода антенны;
- обеспечение защиты входов приёмников за счёт усовершенствования газовых разрядников и повышения электрической прочности кремниевых входных элементов;
- разработка систем стабилизации и подстроек гетеродинов, обеспечивающих работу РЛС в режиме селекции движущихся целей;
- разработка устройств быстрой перестройки элементов СВЧ приёмника с системой автоматической подстройки магнетрона передатчика под заданный номинал частоты;
- внедрение в аппаратуру полупроводниковых приборов и функциональных элементов, уменьшающих размеры входных устройств приёмников;
- разработка циклотронных и других защитных и малошумящих усилительных входных устройств, обладающих электрической прочностью и сверхмалым временем восстановления парам после воздействия большой просачивающейся мощности передатчика;
- разработка амплитудо-фазостабильных многоканальных СВЧ приёмных устройств;
- разработка и изготовление микрополосковых и интегральных СВЧ элементов и устройств, а также введение гибридных и монолитных функциональных узлов;
- создание микросхем и других элементов многоканальных приёмников методами машинного проектирования, обеспечившими большую сохранность и идентичность их парам.

Дальнейшее развитие СВЧ приёмников видится во внедрении микроминиатюрных входных приёмных устройств в состав активных антенных фазированных решеток (АФАР), введении цифрового управления и развитии функциональных цифровых узлов СВЧ приёмника, реализации технических решений, обеспечивающих всё возрастающие требования к электромагнитной совместимости РЛС.

Аппаратура обработки сигналов

Устройства обработки сигналов радиолокационных станций зенитных ракетных комплексов осуществляют обработку принимаемых радиолокатором сигналов с целью обнаружения в пространстве источников этих сигналов и измерения их координат. Основные характеристики устройств обработки сигналов — это чувствительность (т. е. способность «видеть» слабые сигналы) и динамический диапазон (диапазон обрабатываемых амплитуд сигнала). По обоим этим параметрам к устройствам предъявляются предельно высокие требования.

Проблема разработки приёмного устройства связана также с высокой многоканальностью устройства. Продолжая сравнение с «глазами» системы, можно сказать, что приёмное устройство содержит многочисленные каналы («глаза»), каждый из которых «видит» только объекты с определенными фиксированными координатами (дальность, скорость, углы). Для того чтобы «видеть» весь необходимый диапазон координат, количество каналов должно измеряться десятками, а то и сотнями тысяч, что и создает трудности при реализации. Существенное значение имеют также такие требования, как сокращение объёма аппаратуры, уменьшение потребляемой мощности, повышение надёжности и технологичности изготовления.

Начало развития устройств обработки сигналов связано с разработкой первого комплекса зенитного управляемого ракетного оружия — системы С-25.

Приёмные устройства этой системы были построены по модульному принципу: для азимутальной и угломестной антенн использовалось по четыре идентичных группы приёмных каналов для пяти целей в каждой. Таким образом, обеспечивалось одновременное автосопровождение до 20 целей. Аналогичным образом были построены приёмные каналы сигналов ответчиков ракет, что обеспечивало наведение до 20 ракет одновременно. Каждый канал представлял собой усилительный тракт с селекцией по двум координатам. Зондирующий сигнал был импульсным с однозначной дальностью.

Для работы в помеховой обстановке предусматривалась возможность подавления сигналов от неподвижных объектов и гидрометеоров с помощью устройства селекции движущихся целей. Принцип работы этого устройства заключался в вычитании друг из друга выходных амплитуд сигналов одинаковой дальности для последующих зондирующих импульсов.

В качестве основы элементной базы в приёмном устройстве использовались специально разработанные электровакуумные приборы, а в качестве основного элемента тракта — резонансные управляемые усилители на этих приборах. Это были достаточно сложные по схеме, конструкции и настройке элементы. Для их настройки требовалась серьёзная подготовка технического персонала. Основным элементом устройства подавления сигналов от неподвижных объектов и гидрометеоров были такие экзотические для сегодняшнего дня элементы, как ртутные линии задержки. Они требовали особенно бережного обращения. В условиях стационарной аппаратуры это было возможным.

Богатый опыт, полученный при проектировании первых приёмных устройств, был во многом использован в ЗРК С-75 и С-125. Принципы

построения приёмных устройств для этих ЗРК, их функциональное назначение и технические характеристики были аналогичны, отличалось лишь количество приёмных каналов. Серьезные изменения коснулись, в основном, элементной базы и конструкции устройств, особенно для аппаратуры селекции движущихся целей. Более жёсткие условия эксплуатации, обусловленные перевозимостью аппаратуры, не позволили использовать ртутные линии задержки. Для поисков других, принципиально новых технических решений были проведены серьёзные научно-исследовательские работы, в результате которых родились новые приборы: вычитающие потенциалоскопы, твёрдотельные линии задержки, полупроводниковые приборы, успешно использованные в новых приёмных устройствах.

Принципиально новые технические решения были применены в следующей разработке для системы С-200. В аппаратуре впервые была использована система общей когерентности, при которой все базовые сигналы формируются из одного генератора путём частотных преобразований. Это значительно повысило степень когерентности всей РЛС, однако одновременно стали выше требования и к качеству узлов приёмного устройства: необходимо было обеспечить пониженный уровень шумов и паразитных спектральных составляющих, пульсаций напряжения источников питания, наводок и т. д. Решение этих вопросов было достаточно трудоёмким.

Серьезно увеличилась многофункциональность устройства в том смысле, что перечень обрабатываемых сигналов сильно расширился: появились когерентные сигналы большой длительности, как без модуляции, так и с модуляцией различных видов.

В состав аппаратуры обработки сигналов входили, как и ранее, три приёмных устройства: приёмное устройство обзора, приёмное устройство сопровождения целей и приёмное устройство сопровождения ракет. Селекция сигналов по скорости осуществлялась с помощью набора специально разработанных узкополосных кварцевых фильтров, подавление сигналов от неподвижных объектов — с помощью режекторных фильтров. Большая длительность принимаемых сигналов позволила получить беспрецедентно высокую разрешающую способность по частоте (порядка 20 Гц).

Следующий качественный скачок в технике обработки сигналов был сделан при модернизации описываемой аппаратуры. При этом были использованы появившиеся к тому времени интегральные схемы, печатный монтаж, в состав аппаратуры был введен так называемый звуковой приёмник, позволявший оператору распознавать цель по звуку. И, наконец, в этом устройстве впервые была применена цифровая обработка сигналов: в качестве основы приёмного устройства обзора был использован цифровой спектроанализатор на основе быстрого преобразования Фурье. Эта работа наглядно продемонстрировала преимущество цифровых методов обработки сигналов перед аналоговыми, несмотря на малую степень интеграции элементной базы, доступной в то время.

Современные устройства обработки сигналов характеризуются повышенной многофункциональностью. Постоянно увеличивается количество используемых зондирующих сигналов, режимов работы, усложняются алгоритмы обработки, более гибкой становится временная диаграмма работы. Всё чаще используется цифровая аппаратура. Её основой стали

программируемые процессоры сигналов, а центр тяжести в реализации алгоритмов обработки переносится на программное обеспечение.

Аппаратура отображения информации

Системы отображения информации являются связующим звеном между радиолокационной информацией и человеком-оператором.

При создании первой отечественной системы зенитного управляемого ракетного оружия С-25 по результатам проектирования определили состав и назначение рабочих мест:

- операторов управления боевой работой ЗРК;
- операторов ручного сопровождения целей;
- командира комплекса.

Рабочие места операторов управления боевой работой ЗРК обслуживали два человека. С помощью индикаторов, обеспечивающих отображение отметок целей и ракет, один оператор проводил выбор целей для автоматического сопровождения, а второй — осуществлял пуски ракет.

Для выполнения работы при отсутствии устойчивого автоматического сопровождения в станции была предусмотрена возможность ручного сопровождения целей. На рабочем месте ручного сопровождения работало три оператора, обеспечивающих сопровождение по дальности и двум угловым координатам.

Командир комплекса со своего рабочего места осуществлял включение ракет на подготовку и контролировал работу всех операторов ЦРН.

С началом пусков ракет на полигоне стала очевидна необходимость проведения проверки функционирования всех систем ЦРН с рабочих мест операторов. Результаты проверки выдавались на индикаторы, дополнительно установленные над рабочими местами операторов ЦРН. Кроме того, был установлен индикатор для отображения в крупном масштабе положения ждущих стробов ракет.



Рис. 28

Рабочие места операторов РПН ЗРС С-300ПМУ1



Рис. 29
ЭВМ «Багет-23В»

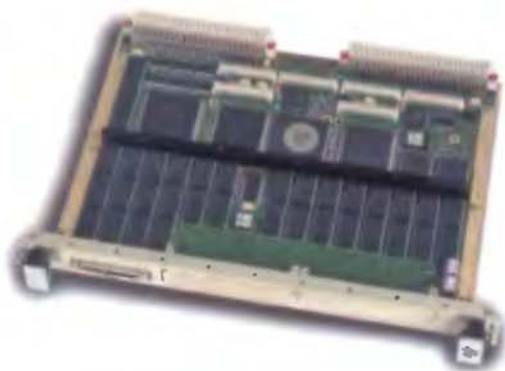


Рис. 30
Процессорный модуль БТ23В-205

Первыми средствами отображения в радиолокационных индикаторах стали электронно-лучевые трубки (ЭЛТ). Сигнал на экране отображался в виде засветки (модуляции луча по яркости). Отображение осуществлялось либо в полярной системе координат на индикаторе кругового обзора, где азимут цели отображается угловым положением отметки, а дальность — её радиальным расстоянием, либо в прямоугольной системе координат, где одна из координат отображает дальность, а другая — азимут, угол места или высоту. ЭЛТ являлась составной частью индикаторных блоков. Принципиальные изменения рабочие места операторов претерпели при разработке новейшей системы С-400 «Триумф».

Технические достижения в области средств отображения позволили перейти от функционального к растровому методу отображения. В качестве средств отображения стали применяться цветные жидкокристаллические индикаторы большого размера. Подготовку информации для вывода её на экраны осуществляют мощные отечественные ЭВМ семейства «Багет», разработанные НИИСИ РАН под руководством академика В.Б. Бетелина.

До недавнего времени военная электроника была дорогой, каждая система была уникальной и создавалась под конкретную задачу.

В настоящее время, в условиях сокращения расходов на военные нужды, оттока квалифицированных программистов, встроенные системы развиваются в условиях кадрового и материального дефицита. Поэтому всё шире применяются технологии двойного применения, используются открытые стандарты. Общим интересом заказчика и разработчика стало сокращение сроков разработок и их удешевление.

С технической точки зрения любое специализированное устройство стало наделяться всё более совершенным электронным интеллектом, который является совокупностью микропроцессора и сложного программного обеспечения.

Сейчас основная задача разработчика рабочих мест — используя унифицированный конструктив, собрать вместе необходимые аппаратные и программные компоненты, обеспечить их совместимость, установить системное программное обеспечение. Объектом разработки остается специальное программное обеспечение.

Аппаратура функционального контроля

При разработке первых многоканальных МРЛС в полной мере возникла необходимость в разработке дополнительной аппаратуры, которая обеспечивает выполнение следующих задач. Первая из них — это функциональный контроль, отладка и проверка боевой аппаратуры и программного обеспечения радиолокатора или его составных частей: антенного поста и аппаратного контейнера. А вторая — это обеспечение тренировки боевого расчёта МРЛС в условиях, максимально приближённых к реальной обстановке при боевых действиях.

Эти устройства имели разные названия и долгую историю совершенствования, прежде чем смогли в полном объёме решать указанные выше задачи. Как разрабатывались эти устройства, какие проблемы при этом решались, можно показать на примере разработки тренажёра аппаратного контейнера МРЛС. Следует отметить, что задача разработки качественного формирователя сложных сигналов всегда сначала решалась в интересах передатчика, а созданный задел затем использовался для разработки вспомогательной аппаратуры, какой является тренажёр.

Основными элементами устройства тренировки операторов является формирователь сигналов (целей, ответчиков ракет и помех) на одной из промежуточных частот приёмного устройства радиолокатора и вычислительное средство (спецвычислитель, вычислительный комплекс и т. д.), которое формирует траекторию объекта и вычисляет сигнальные коды управления для формирователя сигналов. Задача формирователя сигналов состоит в том, чтобы на промежуточной частоте при реальной временной диаграмме работы подсистем аппаратного контейнера имитировать отражённый (ответный) сигнал со всеми необходимыми параметрами, такими как доплеровская добавка по частоте, задержка по времени на распространение, амплитуда с учётом отражающей способности, дальности и моноимпульсного метода определения угловых положений объекта, а также вида зондирующего сигнала (КН, ФКМ, ЛЧМ и т. д.). Как оказалось, решить эту сложную задачу можно с помощью трёх видов устройств: цифрового синтезатора сигнала, преобразователя кода во временной интервал и электронно-цифрового аттенюатора.

Первые разработки аппаратуры формирования сложных сигналов были предприняты в начале 1960-х гг. В системе С-200 впервые в зондирующем сигнале использовались фазокодовая манипуляция и частотная модуляция для определения дальности сопровождаемых целей. Формирователи этих сигналов представляли собой очень сложные аналоговые устройства, выполненные на электровакуумных приборах, и требовали достаточно кропотливой настройки перед эксплуатацией.

В многофункциональном радиолокаторе для системы С-300П в качестве многоканального исполнительного элемента по дальности были разработаны и использовались сложные цифровые устройства — преобразователи кода во временной интервал. Заниматься разработкой синтезаторов частоты учёные начали в конце 1970-х гг. Была разработана схема, изготовлен макет и проводилась отработка его характеристик. По времени это соответствует началу разработки аппаратуры для системы С-300ПМУ1. Дальнейшее развитие направление по синтезаторам частот получило, когда были освоены методы прямого цифрового синтеза.

Эти методы позволяют не только изменять частоту сигнала с определенным шагом, но и формировать сигналы с различными видами модуляции (ФКМ, ЛЧМ и т. д.). Впервые цифровой синтезатор ЛЧМ-сигнала был внедрён в радиолокатор по системе С-200ВЭ.

Следующим шагом было введение режима ЛЧМ в радиолокатор системы С-300ПМУ1. Вся совокупность сложнейшей цифровой и аналоговой аппаратуры в обязательном порядке входит в состав устройства тренировки операторов, которое обеспечивает также полноценный функциональный контроль аппаратного контейнера. На сегодняшний день это устройство помогает решать ещё одну важную задачу — экономить материальные ресурсы. Входя в состав контрольно-измерительных моделирующих стендов, оно позволяет обрабатывать боевую аппаратуру и программное обеспечение с высокой степенью достоверности до отправки техники на полигонные испытания.

Вычислительные средства и их программно-алгоритмическое обеспечение

Вычислительные средства являются центральным управляющим звеном в составе ЗРК и командных пунктов. Они формируют временную диаграмму работы радиолокаторов, обеспечивают управление лучом радиолокаторов, обнаружение целей, сопровождение целей и ракет, выработку рекомендаций по обстрелу целей, наведение ракет на цели, взаимодействие со средствами управления, функциональный контроль, тренировку боевого расчёта и ряд других задач. В составе средств управления при помощи вычислительных средств обеспечивается завязка и сопровождение трасс целей, отождествление и обобщение трасс целей, отбор целей для поражения и их распределение между ЗРК, выдача целеуказаний, координация боевых действий ЗРК, взаимодействие с вышестоящими ЗРК и тренировка боевых расчётов систем.

Вычислительные средства исторически подразделялись на цифровые вычислительные комплексы и специализированные встроенные мини-ЭВМ, обычно именуемые спецвычислителями. Создание управляющих вычислительных комплексов на протяжении более 30 лет для систем ПВО и ПРО выполнял Институт точной механики и вычислительной техники АН СССР (ИТМ и ВТ).

Принципиальной особенностью построения всех управляющих комплексов, созданных специалистами ИТМ и ВТ под руководством академика С.А. Лебедева, а в последующем члена-корреспондента В.С. Бурцева, было распараллеливание вычислительного процесса, так как требования по производительности, которые выставляли для ЦВК, выполнить на существующей элементной базе было невозможно. При реализации и так сложных алгоритмов необходимо было задачи распараллеливать по процессорам при условии большого количества прерываний, порождаемых жёсткой временной диаграммой работы радиолокаторов. И всё это при наличии многих потоков входной и выходной информации по синхронным и асинхронным каналам обмена.

В ЗРС были внедрены и успешно эксплуатировались многие ЦВК, отличающиеся по производительности, количеству процессоров, ёмкости памяти, составу каналов ввода-вывода и многим другим параметрам.

Развитие отечественной вычислительной техники к началу 1960-х гг. позволило А.А. Расплетину, генеральному конструктору разрабатывавшейся в то время системы С-200, впервые принять решение о включении в состав аппаратуры цифровой вычислительной машины (ЦВМ), которая смогла бы эффективно решать задачи, выполнявшиеся в предыдущих ЗРК С-75, С-125 аналоговыми счётно-решающими устройствами и блоками.

Ввиду жёстких сроков было решено использовать уже созданную к этому времени в НИИ-17, подходящую по габаритам ЦВМ «Пламя» (главный конструктор Б.П. Карманов), доработав её в соответствии с тактико-техническими требованиями к системе С-200.

Логическая часть ЦВМ «Пламя» была построена на динамических триггерах, работающих на тактовой частоте 1 МГц. Постоянное запоминающее устройство (ПЗУ) было реализовано из 8 легкосъёмных, вручную прошиваемых ферритовых блоков, каждый из которых содержал 512 16-разрядных слов. 16 слов одного из блоков ПЗУ-512 могли быть оперативно перепрограммированы с пульта. Оперативная память содержала 512 16-разрядных ячеек.

Технические характеристики ЦВМ «Пламя», конечно, не идут ни в какое сравнение с ресурсами современных вычислительных средств, но в 1960 г. это было самое передовое, что можно было применить при разработке системы С-200.

В соответствии с особенностями работы в реальном времени было разработано специальное устройство ввода-вывода для обмена информацией с устройствами системы, модернизировано устройство управления: в систему команд были введены команды прерывания и восстановления прерванного счёта.

Конструктивно блоки ЦВМ, рассчитанные на установку в самолёте, были размещены в одном шкафу кабины К2. Были заново разработаны источники питания ЦВМ, пульт управления.

Далее настала очередь целой серии ЦВК 5Э26 (1978 г., 5Э262, 5Э261, 5Э266, 5Э265) для системы С-300ПМУ и её модификаций (главные конструкторы С.А. Лебедев, В.С. Бурцев). Эти ЦВК были мобильными и имели многопроцессорную высокопроизводительную структуру с модульной памятью, легко адаптируемой к различным требованиям по производительности и памяти. Впервые была создана машина с автоматическим резервированием на уровне модулей, обеспечивающая восстановление вычислительного процесса при сбоях и отказах аппаратуры при боевой работе. Основу элементной базы составляли интегральные схемы.

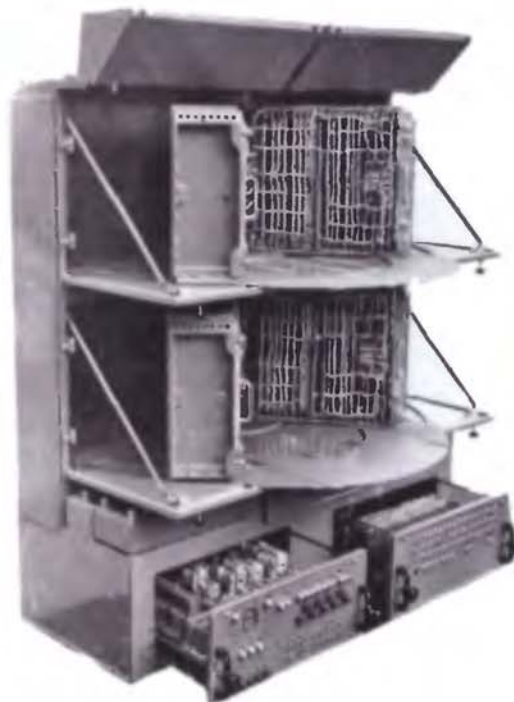


Рис. 31
ЦВМ «Пламя-К»

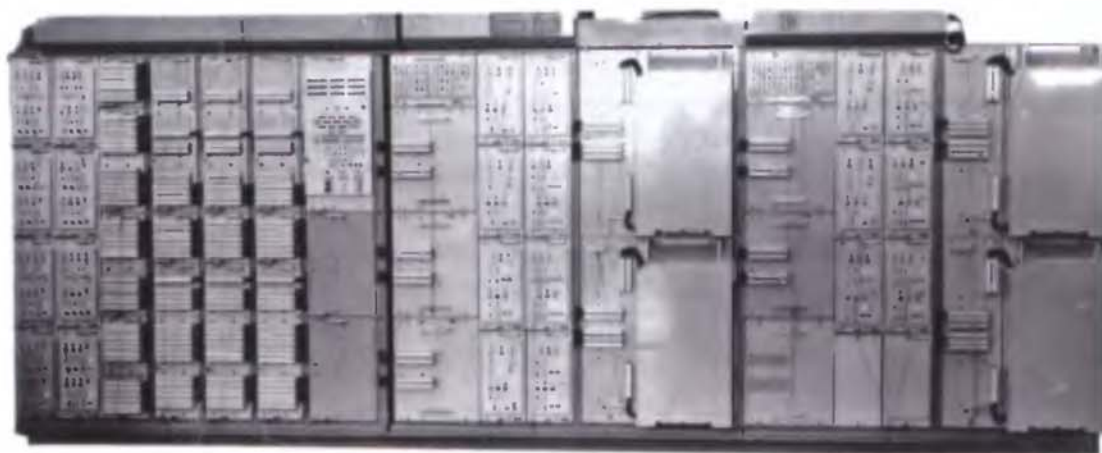


Рис. 32
ЦВК 5Э261

Для системы С-300ПМУ1 был создан ЦВК 40У6 (1988 г., главный конструктор Е.А. Кривошеев), который представлял собой дальнейшее развитие архитектуры ЦВК 5Э26, был с ним программно совместим, но имел уже пять процессоров. ЦВК 40У6 до настоящего времени эксплуатируется в составе ЗРС С-300ПМУ1.



Рис. 33
ЦВК 40У6 (справа)

Цифровой вычислительный комплекс 40У6 разработан на базе микросхем средней интеграции. Он имеет производительность 3,5 млн оп./с (25 MIPS) при 5-процессорной работе, оперативную память и память команд 256 и 512 Кбайт соответственно. В качестве средств обмена с устройствами контейнера используются 10 последовательных каналов с интерфейсом КО26. Устройствами ввода-вывода являются накопитель на магнитной ленте ЗУМЛ-75 с информационной ёмкостью 512 Кбайт и скоростью передачи данных

500 Кбайт/с, а также телетайп П-115 со скоростью вывода 100 бод. Рабочая программа ЦВК 40У6 разработана с использованием оригинального специализированного языка программирования. По указанным параметрам, а также таким параметрам, как наработка на отказ ($T_0 = 125$ ч.), потребляемая мощность электропитания (5,6 кВт), массогабаритные характеристики, ЦВК 40У6 не пригоден для применения во вновь разрабатываемых или модернизируемых комплексах.

Разработка управляющих вычислительных комплексов требовала больших затрат. Поэтому при согласовании технического задания учитывались требования и других предприятий, которые рассчитывали в будущем также использовать эти комплексы.

Для того чтобы сократить срок внедрения ЦВК в ЗРС ещё на этапе создания ЦВК 5Э265 был предложен дополнительный способ тестирования машины на Загорском электромеханическом заводе с помощью контрольных задач. Такие контрольные задачи для всех ЦВК создавались на базе боевых программ, проверенных с помощью имитационных программ на универсальной ЭВМ БЭСМ-6, а позднее на персональных компьютерах. На этих задачах также проверялись системы автоматизации программирования, реализованные для этих машин.

В 1986 г. было принято решение о разработке вычислительного комплекса широкого применения «Эльбрус-90 микро». Предполагалось использовать его в перспективных ЗРС. Разработка микропроцессорного набора «Электроника Эль-90» была за короткий срок выполнена в ИТМ и ВТ, но начавшиеся преобразования в стране свели практически к нулю финансирование военной тематики, и работы по изготовлению микропроцессора были прекращены.

В 1991 г. было принято решение, позволявшее использовать в разработках импортную технику, которая в последующем будет воспроизведена в нашей стране. В создавшихся условиях наискорейший результат можно было получить за счёт применения рабочей станции «Беста-88» на базе шины VME. В результате совместных работ НИИСИ РАН, НПЦ «Сапсан» и НПО «Алмаз» был создан двухмашинный 6-процессорный комплекс с необходимым набором каналов ввода-вывода. Этот комплекс был более производительным, сравнительно дешёвым, небольшим по габаритам и достаточно надёжным по сравнению с ЦВК 40У6. На этом комплексе была использована импортная операционная система реального времени на основе ОС UNIX и система разработки, позволяющая разрабатывать программы на языке программирования СИ. Выбор этого языка программирования для разработки боевых программ был осуществлен ещё при использовании ЦВК 40У6 (ранее по выбору языка проводились специальные исследования), но практической реализации этот проект развития не получил. В течение нескольких лет успешно проводилась разработка рабочих программ для ВК «Беста», но со временем резерв производительности был исчерпан. Переход на более высокопроизводительные импортные процессоры для этой станции, которые к этому времени появились на Западе, был сомнительным.

В 1997 г. было найдено компромиссное решение о заимствовании западной SPARC-архитектуры для современного управляющего вычислительного комплекса и последующего её воспроизводства на отечественной базе. Работа по созданию «Эльбрус-90 микро» на этой архитектуре была поручена ЗАО «МЦСТ». В 1998 г. комплекс был создан и успеш-



Рис. 34
Вычислительный комплекс
«Эльбрус-90 микро»

но прошёл испытания. ОАО НПО «Алмаз», как и ранее, первым внедрило ВК «Эльбрус-90 микро» в разрабатываемую перспективную систему С-400 «Триумф». Перенос рабочих программ, разработанных для ВК «Беста», на ВК «Эльбрус-90 микро» был выполнен за три месяца.

За прошедший период было разработано несколько модификаций вычислительных комплексов с более высокой производительностью. В настоящее время 4-процессорный ВК «Эльбрус-90 микро» с производительностью более 1 млрд операций в секунду успешно применяется в системах ПВО.

Таблица 9. Сравнительные характеристики ЦВК 40УБ и «Эльбрус-90 микро»

Характеристики	40УБ	Эльбрус-90М (Русс)
Производительность, MIPS	25	500 (1800)
Количество процессоров	5	4 (4)
Тактовая частота, МГц	10	150 (500)
Объём памяти, Мбайт:		
– оперативная	0,256	256–1000
– командная	0,512	–
– внешняя	0,512	72000
Объём, м ³	3	0,6 (0,3)
Потребляемая мощность, кВт	5,6	1,4 (1,0)
Наработка на отказ, час	125	9000
Язык программирования	АК40 Ярус	«Си»

Для каждой новой ЗРС возрастала сложность программно-алгоритмического обеспечения, а коллективы алгоритмистов и программистов сокращались. В таких условиях на первое место выступала технология разработки алгоритмов и отработка функционального программного обеспечения, работающего в условиях всё более жёсткого реального масштаба времени. Краткое изложение этой технологии хоть в какой-то мере обрисует беспримерный труд, затраченный теоретиками и программистами на создание алгоритмов и программ на протяжении последних 30–40 лет. Эта технология постоянно совершенствуется. В общем виде она предусматривала несколько основных этапов разработки.

Во-первых, проводились анализ структуры системы управления, разработка алгоритмов и выбор параметров объектов управления. Далее разрабатывались модели, на которых оттачивался алгоритм с учётом всевозможных условий работы систем и тщательным анализом результатов моделирования.

Второй этап — разработка на основе отработанных алгоритмов функционального программного обеспечения, необходимого набора моделей и проведение автономной отладки его отдельных частей на имитаторе вычислительного комплекса, реализованного на универсальной ЭВМ. В последующем эти процедуры проводились на персональных компьютерах.

На третьем этапе осуществлялся перенос предварительного отработанного программного обеспечения на реальный управляющий вычислительный комплекс в составе комплексного испытательного моделирующего стенда (КИМСа). Здесь фактически впервые проводилась полная сборка программного обеспечения.

На последнем этапе проводились проверка и испытания ПО в составе ЗРС при натурных работах. Технология проведения натурных работ всегда предусматривала предпусковое моделирование, что, несомненно, повышает вероятность осуществления успешных пусков ракет. Таким образом экономятся значительные материальные ресурсы. Однако, как показывает опыт проведения испытаний, полной гарантии получения успешных пусков как у нас, так и за рубежом не имеется. В случае неудачных пусков проводилось послепусковое моделирование, которое, как правило, позволяло найти конкретную причину отказа.

Естественно, этот технологический процесс всегда был итерационным. И в этом процессе участвовало более сотни разработчиков (теоретики, программисты, тематики и специалисты других подразделений-разработчиков). Суммарная трудоемкость разработанного программно-алгоритмического обеспечения только для одной из разработанных систем составила более 1000 человеко-лет.

Переход в последние годы на языки программирования более высокого уровня, применение новейших систем разработки ПО и создание программно-аппаратных имитаторов для отработки программно-алгоритмического обеспечения позволили сократить сроки разработки почти вдвое. Общая тенденция такова, что доля программного алгоритмического обеспечения в системах зенитного ракетного оружия и в дальнейшем будет только расти.

Бортовая аппаратура управления ЗУР

Бортовая аппаратура управления зенитных ракет создавалась вместе с первыми зенитными ракетными системами, разработка которых началась в 1950 г.

Бортовая аппаратура управления зенитных ракет ЗРС С-25, С-75, С-125 состояла из бортового приёмопередчика радиолинии «борт-земля» и автопилота, что позволяло реализовать принцип телеуправляемого наведения ракеты. Для устойчивости и надёжности информационного канала радиолинии в состав бортовой аппаратуры управления вводились специальный шифратор-дешифратор команд и автономный источник питания.

Передачик приёмоответчика выполнялся на магнетроне, мощность которого использовалась также для работы активного радиовзрывателя.

Особую проблему представляло создание и размещение на корпусе ракеты антенн приёмо-ответного канала. Антенны должны были обеспечивать устойчивую радиосвязь с наземной станцией управления при различных ориентациях ракеты в полёте и в то же время не нарушать аэродинамики ракеты.

При разработке бортовой аппаратуры большое внимание уделялось повышению помехозащищённости радиолинии и надёжности передачи команд управления на борт ракеты.

Уровень создаваемой бортовой аппаратуры соответствовал передовым рубежам научно-технических достижений и технологий и прошёл все ступени развития — от применения вакуумных радиоламп до полупроводников, микросхем и микросборок высокой степени интеграции.

Разработка автопилотов для зенитных ракет С-25 проводилась в ОКБ-301 под руководством главного конструктора С.А. Лавочкина. Первый автопилот был разработан с двухстепенными гироскопами по угловой скорости и свободным гироскопом крена. Для управления рулями ЗУР был применен пневмопривод с управлением от электронных усилителей и с датчиком линейных ускорений.

Качество стабилизации ракеты с автопилотом отрабатывалось при «продувке» ракеты на базе ЦАГИ в «дозвуковой» аэродинамической трубе. При проведении этих работ был открыт эффект «косой обдувки», что потребовало специальных технических решений и последующей доработки автопилота.

Элементная база автопилота строилась на применении электродвигателей, магнитных и ламповых усилителей.

Следующим шагом развития бортовой аппаратуры управления ЗУР является создание самонаводящихся ракет для зенитной ракетной системы С-200. При наведении ракеты реализован полуактивный метод наведения, когда воздушная цель подсвечивается наземным локатором, а бортовая головка самонаведения, захватив отражённый от цели сигнал, обеспечивает необходимое управление ракетой.

Применение полуактивной головки самонаведения позволило значительно повысить точность наведения, обеспечив практически постоянный уровень ошибок по всей зоне поражения ЗРС С-200.

В качестве бортового приёмоответчика на зенитных ракетах системы С-200 использовалась специализированная аппаратура КРО (контрольный радиоответчик), которая предназначена для передачи на наземную станцию управления информации о наличии сигнала цели в приёмном тракте ГСН.

Полуактивная ГСН для ЗУР С-200 была новейшим техническим достижением того времени. В качестве элементной базы в ГСН были применены ударопрочные стержневые радиолампы. При дальнейших модернизациях системы были применены транзисторы.

Для полуактивной ГСН был разработан специальный трёхступенной гиростабилизатор нового типа, который позволял полностью развязать антенную систему ГСН от корпуса ракеты.

Для зенитной ракеты С-200 был разработан новый автопилот, построенный на демпфирующих гироскопах и свободном гироскопе крена. Управление рулями ракеты осуществлялось специальным гидравличе-

ским приводом. Отличительной особенностью автопилота являлось специальное расположение демпфирующих гироскопов, которое учитывало изгибные колебания корпуса ракеты. Разработанный автопилот был построен с применением транзисторов и отличался высокой точностью и повышенной надёжностью.

Разработка третьего поколения бортовой аппаратуры управления зенитных ракет началась в 1969 г. с разработки многоканальных зенитных ракетных систем ряда С-300П. Для зенитных ракет этих систем реализовано оптимальное сочетание телеуправления и самонаведения, которое позволяет обеспечить высокие тактико-технические характеристики системы в сложных условиях применения.

Одним из главных требований, предъявляемых к бортовой аппаратуре ЗУР, являлось обеспечение надёжного функционирования при отсутствии технического обслуживания в течение всего срока службы. ЗУР ряда С-300П размещается в герметичном транспортно-пусковом контейнере и используется в боевой работе по принципу «патрона».

На всех ЗУР для систем ряда С-300П устанавливаются бортовой радиопеленгатор — полуактивную головку самонаведения и аппаратуру приёма-ответчика, надёжно связывающую борт ракеты с наземной станцией управления в обоих направлениях. Замыкание контура управления ракетой осуществляется многофункциональным радиолокатором подсвета и наведения, который обеспечивает совместную обработку собственной радиолокационной информации с информацией от бортового радиопеленгатора ЗУР и осуществляет выработку команд управления ракетой, передаваемых на борт по радиолинии. Передатчик приёмноответчика выполнен на магнетроне.

Для ЗУР систем ряда С-300П был разработан специальный автопилот. Он включал в себя двухосную гироскопическую платформу, которая при старте ракеты обеспечивала интенсивный разворот по крену в плоскость директрисы стрельбы. Для управления рулями разработан специальный рулевой привод на горячем газе от двигателя ракеты. Стабилизация и эффективное управление ракетой в полёте обеспечивались применением гироскопических датчиков угловой скорости и датчиков линейных ускорений.

При дальнейшей модернизации автопилота рулевой привод на горячем газе был заменён на электрогидравлический привод объёмного регулирования.

Накопленный опыт проектирования бортовой аппаратуры позволил в 1990-х гг. сделать следующий шаг в создании четвёртого поколения бортовой аппаратуры управления для перспективных ЗУР новых зенитных ракетных систем.

В перспективных ЗУР оптимально сочетаются телеуправление, инерциальное наведение и активно-полуактивное самонаведение. В качестве дополнительных возможностей предусматривается пассивное самонаведение на постановщики помех.

В состав бортовой аппаратуры перспективных ЗУР входят: бортовой приёмноответчик, инерциальная система и активно-полуактивная головка самонаведения. В данном техническом решении автопилот входит в состав бортовой инерциальной системы, на которую возлагаются также функции стабилизации ракеты в полёте.

Высокая эффективность перспективных зенитных ракет обуславливается оптимальным управлением комплексом бортовой аппаратуры от

специальных бортовых вычислительных средств, которое обеспечивает необходимый уровень адаптации режимов работы аппаратуры к реализуемым условиям. Наличие радиолинии позволяет выполнять корректировку информации на борту ракеты в течение всего времени полёта.

Элементная база разрабатываемой аппаратуры соответствует передовому уровню современных технологий и основана на микросборках высокой степени интеграции и новейших микропроцессорах, внедрённых в состав аппаратуры.

Аппаратура стартовой автоматики

В созданных зенитных ракетных системах С-25, С-75, С-125 и С-200 разработка аппаратуры стартовой автоматики проводилась предприятием «Дзержинец». В то время создание аппаратуры для подготовки и пуска ракет осуществлялось на базе механических коммутирующих устройств.

С начала создания средств системы С-300ПМУ ОАО «НПО «Алмаз» впервые взялось за разработку аппаратуры стартовой автоматики для подготовки к пуску и пуска ракет.

Для реализации алгоритмов подготовки и пуска изделий при разработке схем аппаратуры стартовой автоматики была применена новая элементная база. Разработанная аппаратура обеспечивала возможность подключения к ней до трёх пусковых установок. Созданная аппаратура состояла из 13 блоков, размещаемых в контейнере общим весом до трёх тонн. Недостатком данных средств являлся большой объём кабельных связей с пусковыми установками, расположенными от контейнера на расстоянии от 15 до 100 м, что не позволяло за короткое время развёрнуть средства пускового комплекса.

Со временем было принято решение о модернизации средств системы С-300ПМУ до уровня С-300ПМУ1 для повышения тактико-технических и эксплуатационных характеристик. Модернизации подверглась и стартовая автоматика. Было решено разработать её для каждой пусковой установки. Применение новой элементной базы в создании АППИ позволило значительно снизить вес аппаратуры — до 350 кг и уменьшить габариты, сократить количество блоков и кабельных связей, а главное — обеспечить мобильность при развёртывании средств пускового комплекса. Длительная эксплуатация аппаратуры показала её надёжность и безотказность в работе.

В последующей разработке аппаратуры стартовой автоматики применён принцип логической обработки информации при помощи процессоров с необходимым программным обеспечением. Обмен информацией с абонентами осуществляется в цифровом виде по мультиплексным каналам обмена, что позволяет значительно уменьшить количество блоков, а соответственно, и количество аналоговых связей с абонентами.

Вновь разработанная аппаратура предназначена для унифицированной пусковой установки, обеспечивающей подготовку и пуски нового поколения ракет различных типов.

Создание пусковых установок по техническим заданиям ОАО «НПО «Алмаз» выполняли КБ специального машиностроения (главный конструктор В.А. Самойлов) и КБ Горьковского машиностроительного завода (главный конструктор В.К. Дьячков).

Изготовители стартовой автоматики – Московский радиотехнический завод, Свердловский завод электроавтоматики, Львовское производственное объединение им. В.И. Ленина; пусковых установок – Горьковский (Нижегородский) машиностроительный завод, Обуховский завод, завод «Строммашина».

В заключение отметим, что определяющий вклад в разработку многоканальной ЗРС С-25 и последующие разработки ЗРС С-75, С-125, С-200 внес главный конструктор, а с 1963 г. – генеральный конструктор, академик, Герой Социалистического Труда, лауреат Ленинской и Государственной премий СССР, выдающийся учёный, основатель научной школы разработки зенитных ракетных систем и комплексов А.А. Расплетин.

На протяжении существования предприятия его возглавляли: П.Н. Куксенко (1947–1951 гг.), А.С. Елян (1951–1953 гг.), С.М. Владимирский (1953–1954 гг.), В.П. Чижов (1954–1972 гг.), В.М. Шабанов (1972–1974 гг.), М.А. Максимов (1974–1983 гг.), Н.Н. Поляшев (1983–2000 гг.).

Генеральными конструкторами были Б.В. Бункин (1968–1998 гг.), А.А. Леманский (1998–2007 гг.).

Разработка системы С-300П и ряда её модификаций была осуществлена под руководством генерального конструктора, академика, дважды Героя Социалистического Труда, лауреата Ленинской премии, Государственной премии СССР и Государственной премии России Б.В. Бункина.

Разработкой ЗРС С-400 «Триумф» руководил генеральный конструктор, доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, лауреат Государственной премии СССР, золотой медали и премии им. академика А.А. Расплетина АН СССР, национальной премии «Золотая идея» А.А. Леманский.

В настоящее время ОАО «ГСКБ «Алмаз-Антей» им. академика А.А. Расплетина – головной разработчик перспективного зенитного ракетного вооружения и других средств воздушно-космической обороны.

Предприятие возглавляют:

генеральный директор И.Р. Ашурбейли (с 2000 г.), кандидат технических наук, старший научный сотрудник, лауреат премии Правительства Российской Федерации, лауреат Национальной премии «Человек года» за 2009 год;

первый заместитель генерального директора, генеральный конструктор А.И. Лаговиер (с 2008 г.), доктор технических наук, профессор, лауреат премии Правительства Российской Федерации.

Литература

1. Ашурбейли И.Р., Леманский А.А., Ненартович Н.Э. Зенитная ракетная система С-400 «Триумф» // Воздушно-космическая оборона. – 2008. – № 3 (40).
2. Рязанов А.В., Семёнов В.В., Сумин А.С. Система ПВО «Фаворит» // Воздушно-космическая оборона. – 2009. – № 2 (45).
3. Оружие и технологии России. XXI век. Энциклопедия. – Т. IX. – Противовоздушная и противоракетная оборона. – М.: ИД «Оружие и технологии», 2004.
4. 60 лет НПО «Алмаз». Победы и перспективы. – М.: ИФ «Унисерв», 2007.



ДОБРИК И.И.,
генеральный директор
ОАО «МНИИРЭ «Аль-
таир»



СОКОЛОВ С.М.,
заместитель генераль-
ного директора по на-
учной работе – глав-
ный конструктор ОАО
«МНИИРЭ «Альтаир»,
кандидат технических
наук

ДИАЛЕКТИКА ТЕХНОЛОГИЙ КОРАБЕЛЬНЫХ ЗЕНИТНЫХ РАКЕТНЫХ КОМПЛЕКСОВ РОССИЙСКОГО ВОЕННО-МОРСКОГО ФЛОТА

Зенитное оружие надводных кораблей Военно-морского флота является основным средством защиты от всех видов воздушного нападения противника и определяет боевую устойчивость кораблей и соединений ВМФ.

Уже в начале 1950-х гг. все развитые страны мира стали отдавать предпочтение при создании ПВО кораблей зенитному управляемому ракетному оружию (ЗУРО), что было связано с быстрым развитием ракетной техники, радиоэлектроники, новых прогрессивных технологических процессов и принципиально более высокой эффективностью ЗУРО по сравнению с зенитной артиллерией (особенно на средних и дальних дистанциях).

В нашей стране работы по разработке ЗУРО были почти одновременно развернуты в КБ-1 (ныне ОАО «ГСКБ «Алмаз-Антей») и НИИ-10 (ныне ОАО «МНИИРЭ «Альтаир»), а также в ОКБ-2 (ныне ОАО «Факел»), где создавались зенитные управляемые ракеты.

Первые отечественные зенитные управляемые ракетные комплексы С-75 и С-125 были созданы КБ-1 и ОКБ-2 соответственно в 1956 г. и в 1959 г. для войск ПВО страны.

На корабль впервые зенитный ракетный комплекс был поставлен в 1958 г. Это был комплекс М2 («Волхов»), созданный на основе ЗРК С-75 и размещенный на крейсере «Дзержинский», где прошел цикл испытаний. Однако ввиду своей громоздкости и недостаточно полного учёта морской специфики, прежде всего из-за высокой пожаровзрывоопасности ракет с жидкостными ракетными двигателями, этот комплекс в серийное производство запущен не был.

Опыт работы с приспособлением сухопутного комплекса к корабельным условиям показал несостоятельность решения вопроса вооружения кораблей ВМФ такого рода ЗУРО. Разработку корабельных ЗРК необходимо вести по отдельным техническим заданиям, в которых в полной мере учитываются тактика противника при нанесении воздушных ударов, особенности распространения радиолокационных сигналов над морской поверхностью, помеховая обстановка, особенности эксплуатации ЗРК в корабельных условиях, т. е. все факторы, которые существенно отличают разработку корабельных ЗРК от сухопутных аналогов.

Боевые действия на море и на суше существенно отличаются друг от друга. Морская специфика налагает определенные требования и ограничения на средства противовоздушной обороны (ПВО), тактику их использования и построение ПВО кораблей ВМФ. Поэтому непосредственно использовать методы и технические решения, разработанные для сухопутных средств ПВО, для кораблей ВМФ не представляется возможным.

Ровная, хотя и взволнованная, морская поверхность позволяет использовать средства воздушного нападения, летящие на малых и сверхмалых высотах, что невозможно осуществить в наземных условиях. Поэтому для кораблей приоритетными по опасности являются низколетящие цели (НЛЦ), прежде всего противокорабельные ракеты, летящие непосредственно над гребнями волн.

Трудность отражения атак НЛЦ заключается в том, что ПКР доставляются к месту пуска скрытно за пределами границы радиолокационного горизонта наблюдения корабельных РЛС обнаружения. Направление выхода ПКР из-за линии радиогоризонта по отношению к кораблю неизвестно, так как в связи с изолированностью корабля или ордера кораблей на море противник имеет возможность организовать атаку на корабль одновременно с нескольких направлений, используя при этом отвлекающие демонстрационные полёты.

Таким образом, в отличие от сухопутных зенитных огневых средств (ЗОС), которые проектируются, как правило, с ограниченным сектором одновременной стрельбы, корабельные ЗОС должны обнаруживать НЛЦ в круговом обзоре пространства и вести огонь на поражение также в круговую. Установка же нескольких сухопутных стрельбовых комплексов с секторным обстрелом на корабль не представляется возможным из-за ограниченных возможностей их размещения.

Дальность обнаружения низколетящей ПКР мало зависит от потенциала РЛС обнаружения и ЭПР цели, в отличие от цели, летящей на большой высоте, и в основном определяется высотой расположения антенн РЛС над поверхностью моря и длиной рабочей волны РЛС. Очевидно, что высота установки антенн РЛС на мачтах корабля ограничена и определяется водоизмещением и типом корабля. Чем ниже высота полёта ПКР, тем меньше дальность её обнаружения, а следовательно, сокращается время для отражения атаки. Для того чтобы не потерять в дальности обнаружения низколетящей ПКР, необходимо использовать РЛС обнаружения с наименьшей, по возможности, длиной волны, так как в случае низколетящей цели зависимость дальности от длины волны обратная. Чем меньше длина волны, тем больше дальность обнаружения при равных высотах расположения антенны.

На море сопровождение низколетящей цели происходит в условиях мощной естественной помехи. Поверхность моря в большинстве случаев для рабочих длин волн РЛС сопровождения представляет собой практически зеркальную поверхность, и наряду с сигналом, отраженным от цели, возникает сигнал, соответствующий сигналу от зеркального отражения цели относительно поверхности, — так называемый антипод. Сигналы от цели и от антипода в случае низколетящей ПКР располагаются на близком расстоянии друг от друга по угломестной координате, что приводит к неприемлемым ошибкам в РЛС. За счёт испарения, особенно в южных широтах, возникает высокая вероятность появления приводных тропосферных волноводов. Все эти факторы существенно влияют на вероятность обнаружения, сопровождения и точность определения координат целей. Для исключения этих ошибок необходима разработка специальных алгоритмов.

Атака ПКР производится залпом. ПКР сосредоточены в достаточно узком угловом секторе и следуют друг за другом с небольшим интервалом времени в дальней зоне и расходятся при атаке на корабль. Атака прикрывается активной помехой с постановщика, располагаемого на биссектрисе углового сектора залпа. Для РЛС сопровождения это означает, что помеха прикрытия действует в районе ближайших боковых и в главном лепестке диаграммы направленности антенны. В то же время для комплексов наземного базирования типичной следует считать, в основном, ситуацию, когда помеха действует в дальних боковых лепестках, так как защищаемый объект и РЛС сопровождения находятся на значительном удалении друг от друга. На кораблях РЛС сопровождения находятся как раз на защищаемом объекте, т. е. РЛС и объект сосредоточены в одном и том же месте. Наличие помехи в районе главного лепестка диаграммы направленности существенно усложняет реализацию помехозащиты.

Успешное отражение налета СВН на корабль определяется глубиной зоны поражения комплексов, реализацией оптимальных алгоритмов обстрела целей, а также созданием контура ПВО отдельного корабля и ордера кораблей. Контур ПВО корабля должен обеспечить отражение атак СВН во всей верхней полусфере. Решение задач средствами ПВО отдельных кораблей должен обеспечить контур ПВО соединения кораблей.

Для этого необходимо создание распределенного радиолокационного поля, дающего возможность использования данных РЛС одного корабля для обороны другого корабля. При этом появляется возможность обнаруживать цели с очень малой ЭПР, различать ПКР, летящие цугом, а также производить эстафетное наведение ЗУР. Возникает возможность создания мерцающего распределенного радиолокационного поля, что позволяет бороться с противорадиолокационными ракетами типа «Харм». В отличие от распределенного радиолокационного поля на сухопутных территориях создание распределенного поля на море, которое находится в постоянном перемещении в пространстве, требует высокоточной взаимной привязки местоположения кораблей в реальном масштабе времени.

На корабельные ЗРК могут накладываться также требования работать не только по воздушным целям, но и по неподвижным, например по кораблям противника. В этом случае использование эффекта Доплера

невозможно, и требуется применение других аппаратурных и программных решений.

Таким образом, с тем чтобы успешно отражать атаки современных средств воздушного нападения с учётом специфики работы и эксплуатации на флотах, разрабатываемые ЗРК и ЗРАК должны быть многорубежными, многофункциональными и многоканальными, сочетая в себе РЛС кругового обзора и РЛС сопровождения и наведения ЗУР, обеспечивать высокую огневую производительность и малое время реакции.



Рис. 1
Корабль проекта 11356 с ЗРК «Шиль-1»

Контуры ПВО как отдельного корабля, так и соединения кораблей, предельно насыщенных радиоэлектронными средствами в ограниченных объёмах пространства, в отличие от сухопутных систем, решают сложную задачу обеспечения электромагнитной совместимости РЭС (ЭМС), что также предъявляет определенные дополнительные требования к аппаратурной и программной реализации морских РЛС, ЗРК и ЗРАК.

При установке зенитных огневых средств на кораблях необходимо учитывать специфические факторы эксплуатации этих средств на флоте. Помимо очевидной особенности — решения боевых задач в динамических условиях движущегося и качающегося основания — корабля, следует принимать во внимание такие факторы, как автономность корабля как объекта ПВО, ограниченность боезапаса ЗУР и других ЗОС, ограниченная возможность размещения средств на корабле, ограниченная численность обслуживающего персонала, длительность плавания в отрыве от баз.

Автономность означает, что корабль или ордер кораблей должны быть способны отразить массированный налет СВН в круговую собственными средствами без поддержки других сил. Ограниченность боезапаса заставляет минимизировать расход ракет на каждую уничтожаемую цель, что, в свою очередь, требует создания высокоточного, помехо- и отказоустойчивого оружия, способного с высокой вероятностью поражать современные средства воздушного нападения в условиях активных и пассивных помех во всей зоне боевого использования ЗРК и ЗРАК.

Длительное плавание вдали от баз предопределяет повышенные требования к безотказности и контролю всего состава радиоэлектронного и другого вооружения корабля, т. е. должна быть обеспечена живучесть ЗОС. Выход из строя подсистемы некоторого иерархического уровня не должен приводить к срыву выполнения главной задачи управления, поскольку должна существовать подсистема более низкого уровня, способная взять на себя выполнение задачи вышедшей из строя подсистемы, хотя, возможно, и с понижением эффективности. Минимизация обслуживающего личного состава в условиях корабля приводит к необходимости максимальной степени автоматизации и компьютеризации всех основных средств сопровождения целей и ракет, управления и поражения целей.

Также высокая степень автоматизации и компьютеризации на уровне принятия решений необходима в условиях современного морского боя, когда требуются быстрые и правильные действия в сложных и неоднозначных многоцелевых конфликтных ситуациях.

Ведущим предприятием в стране по разработке и изготовлению корабельных зенитных ракетных комплексов является **ОАО «МНИИРЭ «Альтаир»**.

Свою историю предприятие ведет с 1933 г., когда приказом Народного комиссариата тяжелой промышленности был образован Всесоюзный государственный институт телемеханики и связи, который в настоящее время называется ОАО «Морской научно-исследовательский институт радиозлектроники «Альтаир» и входит в состав ОАО «Концерн ПВО «Алмаз-Антей».



Рис. 2
Наводимая пусковая установка
ЗРК «Штиль-1»

Выдающиеся достижения и заслуженное признание института «Альтаир» основаны на фундаментальных научных знаниях, передовых технологиях и высокой квалификации учёных, инженеров и рабочих предприятия. Военно-морской флот Российской Федерации не имеет корабля, на котором бы не стояло оружие, созданное в разные годы коллективом «Альтаира».

Институт приступил к созданию корабельных зенитных ракетных комплексов с середины 1950-х гг. Было создано несколько поколений зенитного и ударного ракетного оружия для

Военно-морского флота. Самые современные — это многоканальные зенитные ракетные комплексы «Риф», «Штиль», «Клинок», которые позволяют создать эшелонированную противовоздушную оборону кораблей и соединений.

За свою 77-летнюю историю институт всегда разрабатывал системы и комплексы, превосходившие по своим характеристикам лучшие зарубежные аналоги. Все принятые на вооружение образцы отличаются

простотой в эксплуатации, высокой надёжностью и гарантией решения поставленных задач.

Располагая современными технологиями, уникальной конструкторской школой и опираясь на творческий потенциал своих специалистов «Альтаир» открыт для сотрудничества как с российскими, так и с зарубежными партнерами. Продукция ОАО «МНИИРЭ «Альтаир» неизменно пользуется спросом в ряде зарубежных стран и успешно эксплуатируется в составе их военно-морских сил.

Создаваемые в ОАО «МНИИРЭ «Альтаир» ЗРК являются многоканальными и скорострельными. Многоканальность достигается применением фазированных антенных решеток и высокопроизводительных вычислительных средств. Скорострельность обеспечивается осуществлением вертикального старта ЗУР из-под палубы с последующим склонением ракеты в плоскости наведения.

Комплексы создаются с использованием унифицированных ракет, единых с сухопутными ЗРК. Максимально унифицирована аппаратура радиолокационных и вычислительных приборов.

Учёными МНИИРЭ «Альтаир» созданы математические модели, позволяющие учитывать специфику при проектировании ЗРК. Алгоритмическое и программно-математическое обеспечение, создаваемое при разработке корабельных ЗРК, уникально и является ноу-хау организации.

На всех этапах разработки широко используется автоматизированное проектирование. Руководство предприятия, понимая, что только с помощью современных информационных технологий и САПР можно обеспечить высокий технический уровень наукоёмких изделий и их конкурентоспособность, реализовать в кратчайшие сроки разработки, уделяет постоянное внимание развитию этого направления.

В настоящее время организованы автоматизированные рабочие места в научных, конструкторских, технологических подразделениях, отделе технической документации, главной бухгалтерии, планово-экономическом отделе, отделе кадров, отделе труда и заработной платы, финансовом отделе и других подразделениях предприятия. На предприятии имеются локальные компьютерные сети, объединившие автоматизированные рабочие места (АРМ) многих подразделений.

С большинства АРМов разрабатывающих подразделений института возможен



Рис. 3
Антенный пост ЗРК «Риф-М»



Рис. 4
Антенный пост ЗРК «Клинок»

доступ к информационной системе поддержки разработчика, которая обеспечивает быстрое получение самой разнообразной нормативно-технической и другой информации. Система создана с применением современных интернет-технологий и постоянно развивается и совершенствуется.

Все АРМы имеют современные персональные компьютеры, а также большое количество периферийных устройств, прежде всего принтеров форматов от А4 до А0. Высокопроизводительные серверы выполняют функции управления сетью, обеспечивают работу специализированных информационных систем предприятия, а также сетевого программного обеспечения.

На АРМах установлено программное обеспечение, дающее возможность проектировать и выпускать конструкторскую документацию самых сложных изделий в сжатые сроки. Используются такие программные системы, как AutoCAD, T-FLEX, SolidWorks, CosmosWorks, CosmosFloWorks, P-CAD, TG Builder, а также разработанные специалистами ОАО «МНИИРЭ «Альтаир» многочисленные специализированные программы САПР.

На предприятии проводятся работы по внедрению CALS- (ИПИ)-технологий, прежде всего созданию PDM-системы, которая реализуется на базе адаптированной для условий ОАО «МНИИРЭ «Альтаир» системы управления инженерными данными и жизненным циклом изделия «Лоцман: PLM».

В институте придается исключительно большое значение воспитанию и подготовке своей собственной научной школы, сохранению научного потенциала, обеспечению преемственности поколений, сохранению и приумножению славных традиций института. С довоенных времен в институте имеется аспирантура, позднее были созданы докторантура, 2 докторских диссертационных совета, базовая кафедра МИРЭА для подготовки инженеров-радиотехников и конструкторов-технологов. В аспирантуре и докторантуре проведено обучение более 700 сотрудников института и других организаций отрасли, из них защитили кандидатские диссертации более 300 аспирантов, докторские — более 20 докторантов и соискателей. В настоящее время в институте работают 10 докторов наук и около 80 кандидатов наук, из них пятеро — действительные члены и члены-корреспонденты Международной Академии информатизации и Академии естественных наук РФ.



Рис. 5
Турельная установка ЗМ-47 «Гибка»

Предприятие имеет уникальную стендовую и испытательную базу. В лаборатории климатических и механических испытаний размещены 16 камер, обеспечивающих испытания ячеек, модулей, блоков и приборов на воздействие предельных отрицательных и положительных температур и на влагозащищенность.

Климатические камеры имеют микропроцессорную систему управления. Задание и регистрация параметров испытаний осуществляются с

использованием АСУ ТП «Климат», разработанной специалистами предприятия.

Участок механических испытаний оборудован четырьмя стендами для испытаний ячеек, модулей, блоков и приборов на воздействие синусоидальной вибрации в диапазоне частот от 20 Гц до 2 кГц с ускорением до 50g, установкой для проведения проверки изделий на воздействие магнитных полей, а также центрифугой и установкой, имитирующей морскую качку.

Лаборатория стендовых и объектовых испытаний располагает комплексными стендами общей площадью 3200 кв. м для проведения комплексных стендовых испытаний и сдачи заказчику. На этих стендах проводились и проводятся испытания комплексов «Риф», «Штиль-1», «Колчан», «Гибка». Для отработки программного обеспечения имеется «Универсальный технологический стенд».

Институт имеет радиолокационный полигон «Научно-испытательная база «Большая Волга».

Полигон оборудован стендами для проверки характеристик создаваемых антенных систем, паспортизации характеристик серийных образцов антенн, отработки и натурных испытаний радиолокационных изделий в целом. Стенды имеют поворотные устройства, позволяющие установить антенны весом до 3000 кг с поворотом по углу места от +90° до -4°, по азимуту $\pm 180^\circ$. Обработка полученной информации по измерениям производится на ЭВМ. Имеются и другие опорно-поворотные устройства разной грузоподъёмности и несколько передающих вышек.

База расположена на берегу глубокого водоёма (допускающего плавание речных судов) с большим зеркалом воды, оснащена соответствующими технологическими средствами измерения и строительными сооружениями, имеет наземные и водные средства транспорта и питание электроэнергией. Предусмотрена возможность привлечения самолётов и вертолётов для проведения испытаний.

Как было сказано выше, самые современные из разработанных ОАО «МНИИРЭ «Альтаир» корабельных средств противовоздушной обороны — зенитные ракетные комплексы «Риф-М», «Штиль-1», «Клинок», являющиеся экспортными модификациями стоящих на вооружении ВМФ изделий, а также корабельная турельная пусковая установка «Гибка».

ЗРК «Риф-М» и «Штиль» обеспечивают коллективную оборону в дальней и средней зонах; автономный многоканальный ЗРК «Клинок» — самооборону корабля. Для борьбы с воздушными целями в зоне самообороны кораблей на дальности до 6 км применяется турельная пусковая установка «Гибка».

Зенитный ракетный комплекс коллективной обороны «Риф-М»

Предназначен для обороны ордера кораблей от массированных атак различных средств воздушного нападения: самолётов, противокорабельных крылатых ракет, в том числе совершающих маневр и летящих на предельно малых высотах.



Рис. 6
Пусковая установка барабанного
типа «Риф-М»

Комплекс состоит из корабельной системы управления, пусковой установки, боекомплекта ЗУР и наземного оборудования. Комплект боезапаса ЗУР включает 48Н6Е, 48Н6Е2, 9М96Е, 9М96Е2.

ЗРК «Риф-М» способен обстреливать до 6 целей одновременно на расстоянии до 150 км (ЗУР 48Н6Е2) и успешно бороться с противокорабельными ракетами на высотах до 7 м.

Работа комплекса обеспечивается внешним целеуказанием от корабельных средств освещения воздушной обстановки и системы обработки информации, а также данными об углах качек, курсе и скорости корабля от корабельных средств гиросtabilизации и навигации.

Система управления выполнена на современной элементной базе. В рабочую программу математического обеспечения ЗРК заложены элементы искусственного интеллекта, позволяющие существенно упростить и ускорить работу операторов в боевом режиме, сократить время на контроль и поиск неисправностей в аппаратуре. В ком-

плекс введена аппаратура записи процесса стрельбы, дающая возможность документировать и оперативно анализировать результаты боевой работы, а также рабочего состояния аппаратуры комплекса. Антенный пост выполнен на базе фазированной антенной решетки с электронной стабилизацией луча и имеет два положения — боевое и походное.



Рис. 7
Командный пост «Риф-М»

Высокая помехозащищенность достигнута благодаря внедрению принципиально новых схемно-технических решений и алгоритмов для защиты от различных видов помех.

Комплекс «Риф-М» обеспечивает одновременное сопровождение 6 целей в секторе $\pm 45^\circ$ по курсовому углу и от $-0,2$ до $+70^\circ$ по углу места.

Число одновременно наводимых ЗУР 48Н6Е, 48Н6Е2 — 12, ЗУР 9М96Е, 9М96Е2 — 12-16.

Таблица 1

Тип ЗУР Параметр	48Н6Е	48Н6Е2	9М96Е	9М96Е2
Дальность предельная, км	120	150	40	120
Дальность минимальная, км	8-9	6-7	2	2
Высота верхней границы, км	25	27	20	30
Высота нижней границы, км	10	7	7	7

Зона обстрела по курсовому углу с учётом ограничений, связанных с архитектурой корабля, до 360°, скорострельность — 2–4 с.

Максимальная скорость поражаемых аэродинамических целей — 950 м/с.

Зенитные управляемые ракеты с вертикальным стартом — телеуправляемые, с полуактивным самонаведением на конечном участке полёта. Доставляются на корабль в транспортно-пусковых контейнерах.

Старт ракет осуществляется из подпалубных пусковых установок Б-203А барабанного типа (ЗУР 48Н6Е) и ПУ модульного типа (ЗУР 48Н6Е2, 9М96Е, 9М96Е2).

Ракета не требует специального обслуживания в условиях корабля.

Корабли, оснащённые зенитным ракетным комплексом «Риф-М», обеспечивают коллективную противовоздушную оборону ордера, значительно отодвигая рубежи развёртывания средств воздушного нападения противника. С помощью одного-двух ЗРК «Риф-М» корабли соединения осуществляют на требуемых дальностях эффективное противодействие не только воздушным ударным средствам и постановщикам помех, но и воздушным средствам разведки и управления, группам демонстративных действий, группам подавления средств ПВО. Зенитные ракетные комплексы «Риф-М» резко улучшают условия боевой работы зенитных комплексов самообороны кораблей: во-первых, за счёт разрежения потока целей, достигающих рубежей и зон действия комплексов самообороны, во-вторых, за счёт снижения плотностей помех, которые могут негативно воздействовать на информационные средства кораблей. В результате существенно возрастают боевые возможности средств самообороны кораблей.

ЗРК «Штиль-1»

Предназначен для защиты группы и одиночных боевых кораблей от ударов современных средств воздушного нападения в любой физико-географической, погодно-климатической и радиоэлектронной обстановке, борьбы с надводными целями и защиты морского побережья.

ЗРК «Штиль-1» имеет две модификации – с ЗУР 9М317Э наклонного старта и с ЗУР 9М317МЭ вертикального старта. Соответственно первая модификация имеет наводимую однобалочную пусковую установку ЗС90Э, а вторая — сотовую пусковую установку «холодного» вертикального пуска ракет ЗС90Э.1.



Рис. 8
Антенный пост «Штиль-1»



Рис. 9
Модульная пусковая установка «Штиль-1»



Рис. 10
АРМ командного поста

Боевые возможности комплекса с ЗУР 9М317Э обеспечивают поражение воздушных целей на высотах от 5 до 15 000 м по высоте и от 3,5 до 50 км по дальности. Максимальная скорость поражаемых целей может быть в пределах от 330 до 830 м/с. ЗРК обеспечивает обстрел целей по азимуту со всех направлений в угломестном секторе от 0 до +70°.

ЗРК «Штиль-1» устанавливается на кораблях водоизмещением 1500 т и более. Его боезапас, количество каналов и скорострельность определяются количеством ПУ и комплектацией комплекса.

Модульное исполнение комплекса «Штиль-1» обеспечивает его высокую боевую живучесть, простоту и эксплуатационную надёжность. Комплекс отличается высокой степенью автоматизации процессов боевой работы, которая может осуществляться автономно или в централизованном режиме при волнении моря силой до 5 баллов в любое время суток и в любых метеоусловиях. Он может устанавливаться на кораблях водоизмещением 1500 т и более в комплектации с учётом класса корабля, условий эксплуатации и предъявляемых требований. По возможностям одновременного отражения ударов СВН с различных направлений в своем классе ЗРК «Штиль-1» не имеет мировых аналогов среди одно-двухканальных, способных вести боевые действия в узких пространственных секторах.

Система управления огнём комплекса функционирует по данным корабельной РЛС и обеспечивает возможность ведения огня по целям в любом азимутальном направлении. В ее состав входят приборы отображения информации, управления стрельбой, цифровой вычислительный комплекс, радиолокаторы (радиопрожекторы) подсветки целей, а также встроенная система телевизионно-оптических визиров. Радиолокаторы подсветки целей размещены на надстройках корабля и могут одновременно использоваться в любом направлении.

Система имеет высокую степень автоматизации боевой работы. Функции оператора сводятся к определению необходимости обстрела цели и количества используемых для этого ракет. Остальные операции (расчёт курса цели и ее траектории, времени пуска и подлета ЗУР к цели, выдача команд радио-

коррекции) осуществляются в автоматическом режиме. При этом обеспечивается одновременное отслеживание до 12 целей и пуск ракет с интервалом 12 с при использовании наводимой пусковой установки наклонного старта ЗУР и 2–3 с при стрельбе ЗУР вертикального старта.

Наводимая однобалочная пусковая установка ЗС90Э служит для предварительного наведения и пуска ракет. Устройство хранения барабанного типа с двумя концентрическими рядами вертикально расположенных направляющих обеспечивает хранение боекомплекта в 24 ракеты.

Вертикальная пусковая установка (ВПУ ЗС90Э.1) модульного исполнения служит для применения ЗУР 9М317МЭ и, в зависимости от компоновки, обеспечивает размещение 12, 24 или 36 таких ракет. Модули ВПУ могут устанавливаться в носовой и кормовой частях корветов, фрегатов и эсминцев, которые сейчас наиболее востребованы на мировом рынке вооружений.

В комплексе используются ЗУР 9М317Э и 9М317МЭ разработки Долгопрудненского научно-производственного предприятия (ДНПП).

Твердотопливная одноступенчатая ЗУР 9М317МЭ с инерциально-корректируемой системой управления и полуактивной радиолокационной ГСН выполнена по нормальной аэродинамической схеме. Бортовая аппаратура ракеты может адаптироваться к типу цели (баллистическая, аэродинамическая, малоразмерная, надводная или наземная, вертолёт), что повышает вероятность её поражения. Наряду с повышенной скоростью стрельбы при использовании модульной вертикальной ПУ (каждые 2–3 с вместо 12 секунд с наклонной ПУ) ЗУР 9М317Э1 по сравнению с ЗУР 9М317Э имеет улучшенную энергетику, более высокую скорость полёта на маршевом участке траектории, новый двигатель и газовые рули для повышения маневренности.

В совокупности с другими особенностями ЗУР 9М317МЭ расширила зону поражения и скорость стрельбы корабельного комплекса «Штиль-1», что имеет особое значение при отражении массированных ударов СВН противника. Стартовая масса и БЧ ракеты составляют 581 кг и 62 кг соответственно.

В настоящее время ЗРК «Штиль-1» и его модификации являются самым эффективным в своем классе корабельным комплексом ЗУРО.



Рис. 11
Телевизионно-оптический визир



Рис. 12
ЗУР 9М317МЭ

Зенитный ракетно-артиллерийский комплекс самообороны кораблей «Клинок»

Предназначен для обнаружения и поражения низколетящих противокорабельных ракет, других беспилотных и пилотируемых средств воздушного нападения, в том числе экранопланов, а также кораблей, телеуправляемыми ракетами с холодным вертикальным стартом.

ЗРК «Клинок» обладает высокими боевыми возможностями и в классе корабельных зенитных средств самообороны не имеет мировых аналогов. Комплекс обеспечивает одновременный обстрел до 4 воздушных целей 8 ракетами на дальностях 1,5–12 км и высотах от 10 м до 6 км в пространственном секторе $60 \times 60^\circ$ при круговом его вращении. При наличии на корабле 30-мм артиллерийских автоматов он может управлять их огнём. В этом случае минимальная дальность обстрела воздушных целей составляет 200 м. Комплекс «Клинок» может эксплуатироваться в любых погодных-климатических условиях при волнении моря силой до 5 баллов.

Комплекс может вести боевую работу по информации от собственной РЛС и общекорабельных средств разведки и целеуказания.

Модульный принцип построения позволяет использовать различные варианты размещения комплекса на корабле. Характерным отличием ЗРК «Клинок» является компактное размещение в составе одного антенного поста на общем вращающемся основании зеркальных антенн модуля обнаружения, антенны с ФАР и электронным управлением лучом ее диаграммы направленности и телевизионно-оптических средств.

Система управления огнём представляет собой быстродействующий вычислительный комплекс с развитым программным обеспечением и элементами искусственного интеллекта. В совокупности с фазированной антенной решеткой штатной РЛС, другими средствами разведки и управления она обеспечивает многоканальность комплекса, малое время реакции и автоматизированную боевую работу в реальном масштабе времени от момента обнаружения целей до их обстрела с высоким темпом стрельбы.

Высокий уровень автоматизации позволяет вести боевую работу в автоматическом режиме, являющемся основным, и осуществлять автоматизированный контроль функционирования комплекса. По желанию заказчика в состав комплекса может входить система управления огнём 30-мм артиллерийской установки.

Средства разведки обеспечивают автономное или по данным общекорабельных средств обнаружение СВН противника на дальности до 45 км при высоте их полёта до 3,5 км, в любых метеорологических условиях, днём и ночью, а также высокую оперативность действий. Телевизионно-оптические средства обнаружения и сопровождения целей позволяют вести борьбу с различными типами целей в условиях интенсивного радиоэлектронного противодействия противника и визуально оценивать результаты их обстрела.

При необходимости ЗРК «Клинок» может вести боевую работу по информации от общекорабельной или других систем разведки и целеуказания.

ЗУР 9М330Э-2 — одноступенчатая, твердотопливная, с вертикальным стартом и командным управлением (телеуправлением) в полёте ракеты, предназначенная для поражения различных современных типов целей. Оригинальная газодинамическая система склонения обеспечивает её разворот на цель в течение одной секунды в начале вертикального старта. Ракета выполнена по аэродинамической схеме «утка» со складывающимися рулями и свободно вращающимся крыльевым блоком, что позволяет размещать её в квадратных транспортно-пусковых контейнерах, ненамного превышающих размеры изделия. Она полностью унифицирована с ЗУР 9М330 войскового ЗРК «Тор».

Автоматическая подпалубная установка вертикального пуска обеспечивает хранение и вертикальный старт ракет. Она состоит из 3–4 унифицированных пусковых модулей барабанного типа с автономными приводами наведения и вращающейся относительно барабана пусковой крышкой. Каждый из модулей рассчитан на размещение в нем восьми ТПК с ракетами.

Вертикальный старт ракеты (масса 165 кг) осуществляется непосредственно из транспортно-пускового контейнера катапультирующим устройством, а склонение в направлении цели с последующей работой маршевого двигателя — на безопасной высоте.

Цель поражается осколочно-фугасной боевой частью массой 15 кг с защищенным от помех неконтактным, адаптируемым к водной поверхности импульсным радиовзрывателем. В зависимости от условий полёта и типа СВН он обеспечивает подрыв БЧ в оптимальный момент для достижения максимально эффективного поражения цели. Одновременно на 4 цели могут наводиться до 8 ракет.

В эксплуатацию ракеты поступают и хранятся в герметичном ТПК, который при одной проверке в течение 10 лет обеспечивает ее высокую боевую готовность до момента непосредственного применения.

Турельная установка ЗМ-47 «Гибка»

Турельная установка ЗМ-47 «Гибка» предназначена для размещения на ней комплектов пусковых модулей «Стрелец» с переносными зенитными ракетными комплексами (ПЗРК) типа «Игла-С», «Игла» и их применения днём и ночью для борьбы с воздушными целями в зоне самообороны кораблей. Дальность обнаружения цели оператором на экране монитора 12–15 км (с вероятностью 0,8 при МДВ 20 км и контрасте цели $\pm 0,3$).

Зона поражения воздушных целей определяется типом используемых ракет.

Турельная установка ЗМ-47 «Гибка» включает собственно пусковую установку (КТПУ) с направляющими для комплекта пусковых модулей «Стрелец», установленную на опорно-поворотном устройстве, а также оптико-электронную систему (ОЭС) для обнаружения и сопровождения целей и дистанционного автоматизированного пуска по ним ракет по первичному целеуказанию от корабельных средств.

Пусковая установка служит для размещения двух или четырех комплектов аппаратуры управления и пусковых модулей «Стрелец» по две зенитных ракеты типа «Игла» («Игла-С») в каждом и оптико-электронной

системы. Размещённая на опорно-поворотной платформе, ПУ обеспечивает обстрел одной цели последовательным (от 1 до 8) или залповым (2 ракеты с разных пусковых модулей) пуском ракет в условиях движения корабля при боковой и килевой качке. Предварительное наведение установки на цель осуществляется по информации от общекорабельных средств выдачи целеуказания. Угловая скорость наведения — 60 град./с.

Оптико-электронная система служит для высокоточного визуального допояска в пределах поля зрения самолётов (вертолёт) и крылатых ракет различного базирования на дальности 12–15 км и 5 км соответственно. Кроме того, она позволяет автоматически принимать информацию о целях, осуществлять поиск, автозахват и автосопровождение, а также последующий дистанционный пуск по ним ракет. В целях своевременного обнаружения и открытия огня по целям используется информация от корабельных РЛС типа «Фуркэ», «Фрегат», «Позитив».

Масса пусковой установки с оптико-электронной системой, в зависимости от количества установленных пусковых модулей «Стрелец» с ПЗРК (2–4 шт.), может составлять 600–900 кг.

Турельная установка ЗМ-47 «Гибка» может быть установлена на кораблях и катерах водоизмещением 200 т и более. На более крупных кораблях, оснащенных средствами ПВО средней и большой дальности действия, может быть размещено несколько турельных установок «Гибка» в качестве средства непосредственного прикрытия и борьбы с воздушным противником в зоне самообороны корабля. Этому способствует также и то, что ее оптический канал может быть использован в качестве дополнительной прицельной системы для корабельных средств ПВО средней и большой дальности действия, особенно в условиях их интенсивного радиоэлектронного подавления противником.

Таковы результаты основных разработок ОАО «МНИИРЭ «Альтаир» по созданию корабельных средств ПВО. В настоящее время коллективом предприятия ведётся разработка новых ЗРК для вооружения перспективных кораблей ВМФ России.

В соответствии с тактико-техническими требованиями эти комплексы должны обеспечить надёжную эффективную защиту не только отдельных кораблей и их соединений от всех средств воздушного нападения в условиях радиоэлектронного противодействия прогнозируемых на перспективу до 2050 г., но и создания нестратегической противоракетной (НПРО) и противокосмической обороны (ПКО) морского базирования для защиты корабельных соединений и баз ВМФ.



ТАНЫГИН А.А.,
генеральный директор
ОАО «ВНИИРТ» и ОАО
«ФНПЦ «ННИИРТ»,
кандидат технических наук

РАДИОЛОКАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ. ТЕХНОЛОГИИ РАДИОЛОКАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВОЗДУШНО-КОСМИЧЕСКОЙ ОБОРОНЫ

Этапы развития отечественной радиолокации. Задачи и достижения

В развитии отечественной радиолокации условно можно выделить несколько этапов. Своим появлением радиолокация обязана развитию средств борьбы в воздухе и на море. Увеличение скоростей полёта самолётов обусловило переход от звуковых методов их обнаружения к радиометодам. Первые системы радиообнаружения самолётов (радиоуправляемые самолёты — РУС) создавались в метровом диапазоне длин волн (МДВ) с использованием гармонических непрерывных сигналов и пространственно разнесённых на значительные расстояния передающего и приёмного постов. Первая отечественная РЛС, успешно испытанная в середине 1934 г., обнаруживала самолёты на высоте 5–6 км и дальности более 3 км.

Необходимость увеличения дальности действия системы определила переход к использованию импульсных сигналов. В 1937 г. была сконструирована первая в СССР импульсная РЛС обнаружения самолётов, обладавшая высокими характеристиками: максимальная дальность — 110–130 км, точность определения дальности ± 1 –2 км, азимута ± 2 –3°. Уже в июле 1940 г. был принят на вооружение двухантенный вариант импульсной РЛС обнаружения дальнего действия «Редут-40» («РУС-2») с двумя синхронно вращающимися постами. К началу Великой Отечественной войны было изготовлено 10 комплектов РЛС.

После изобретения антенного переключателя и решения трудной инженерной задачи передачи высокочастотной энергии импульсной мощностью 100 кВт на вращающуюся антенну была разработана одноантенная мобильная РЛС «Редут-41» (П-2). Не менее сложной задачей была разработка самолётной радиолокационной аппаратуры, так как необходимо было при заданных тактико-технических характеристиках (ТТХ) обеспечить минимальные массогабаритные характеристики. В самолётной РЛС «Гнейс-2» была предусмотрена возможность переключения на боковые антенны для обнаружения целей справа и слева от са-

молёта. На базе РЛС **«Редут»** были созданы также корабельные станции. В 1944 г. для ПВО была разработана более эффективная РЛС обнаружения и целеуказания **П-3**. Она обнаруживала самолёты на дальности 35 км при высоте полёта 1000 м и на дальности до 100–130 км при высоте полёта 8000 м.

В годы войны РЛС успешно использовались не только в ПВО, но также в ВМФ и ВВС и сыграли большую роль при защите Москвы и других важнейших промышленных и административных центров. Всего с 1941 по 1945 гг. на фронт было поставлено 487 комплектов РЛС **«РУС-2»** и **«РУС-2С»**, 120 комплектов РЛС **П-2**, 342 комплекта РЛС **«Гнейс-2»** и её модификаций, а также большое количество других РЛС.

Новый этап в развитии отечественной радиолокации начался в послевоенные годы с появлением реактивной авиации, ракетной техники, возможностью применения преднамеренных пассивных и активных помех для подавления РЛС. Эти факторы определили принципиально новый подход к разработке РЛС. Понадобились станции, способные работать в условиях радиопротиводействия.

Значительным шагом в развитии РЛС метрового диапазона было создание подвижной РЛС обнаружения и наведения с индикатором кругового обзора (ИКО) и аппаратурой защиты от активных и пассивных помех **«Волга» (П-8)**. Индикатор высоты в комплексе с гониометром позволял определять угол места цели и с помощью номограмм — высоту её полёта. В состав станции входил наземный радиолокационный запросчик (НРЗ) с отдельной антенной. Простейшая система селекции движущихся целей (СДЦ) с когерентным гетеродином в приёмном устройстве обеспечивала защиту от пассивных помех. Схема селекции принимаемых сигналов по амплитуде и дальности использовалась для защиты от активных импульсных помех. ИКО на электронно-лучевой трубке с двумя флюоресцирующими слоями голубого (быстроисчезающего) и оранжевого (длительного) свечения хорошо индицировал вновь появляющиеся цели и позволял видеть вкруговую всю воздушную обстановку в течение периода обзора при вращении антенны со скоростью 2 об/мин. В подвижной диапазонной РЛС обнаружения и наведения самолётов **«Волга-А» (П-10)** обеспечивалась перестройка несущей частоты в рабочем диапазоне, и за счёт этого достигалась повышенная помехозащищённость.

Подвижная помехозащищённая диапазонная РЛС обнаружения и наведения самолётов **«Енисей» (П-12)** стала основой уникального семейства станций с впервые реализованной когерентно-компенсационной аппаратурой СДЦ (сначала с использованием ртутных линий задержки, а затем — на потенциалоскопах), устраняющей с экранов индикаторов отражения от местных предметов. Радиолокационная информация — азимут, дальность и угол места цели — считывалась непосредственно с экранов индикаторов, высота определялась по номограмме. РЛС обеспечивала при круговом обзоре дальность обнаружения истребителя типа МиГ-17 не менее 190 км при высоте его полёта на 25 000 м и 140 км при полёте на высоте 10 000 м.

Подвижная наземная РЛС **«Терек» (П-18)** стала самой массовой в мире станцией метрового диапазона волн обнаружения воздушных объектов на средних и больших высотах. РЛС могла использоваться автономно или в составе АСУ, сопрягалась с высотомерами **ПРВ-13** и **ПРВ-9А** и комплексом С-75М. В РЛС предусмотрена возможность изме-

нения высоты установки антенны и угла наклона её в вертикальной плоскости. Для защиты от самонаводящихся снарядов реализован режим «мерцания». Управление РЛС возможно с пульта управления аппаратной машины или с выносного пульта, совмещенного с выносным ИКО. В индикаторной аппаратуре использовались полупроводниковые приборы.

Позднее метровый диапазон стал базовым для станций раннего предупреждения. Наряду с усовершенствованием и дальнейшим развитием РЛС метрового диапазона создаются РЛС в других диапазонах волн. Освоение коротковолнового диапазона волн и применение антенных устройств с узкими диаграммами направленности позволило значительно повысить разрешающую способность РЛС и точность определения угловых координат. Нарастание энергопотенциала за счёт увеличения мощности зондирующих сигналов и увеличения апертур антенн, совершенствование методов обработки эхосигналов при использовании когерентно-импульсной техники позволили обеспечить необходимые дальности и верхние границы обнаружения.

Одной из первых отечественных РЛС в длинноволновой части дециметрового была РЛС **«Тропа» (П-15)** с когерентно-импульсной системой СДЦ и перестройкой частоты для защиты от активных помех. Она обнаруживала самолёты на высотах от 100 м до 6 км на дальности до 100 км. Её модернизация под индексом **П-19** с увеличенной импульсной мощностью до 900 кВт имела дальность действия до 240 км.

В первые послевоенные годы в сантиметровом диапазоне длин волн были созданы стационарная РЛС **«Обсерватория» (П-50)** и подвижная РЛС **«Перископ» (П-20)**, основной облик которых стал прообразом для станций последующих поколений. Принцип построения антенн и определения высоты цели в обеих трёхкоординатных РЛС был одинаков. Две зеркальные антенны формировали два плоских луча — вертикальный и наклонный (под углом 45° к вертикальному). При вращении кабины с антеннами цель обнаруживалась в вертикальном и наклонном лучах. По угловому расстоянию между отметками от одной цели и дальности до неё определялась высота. На индикаторе кругового обзора с послесвечением можно было определить высоту нескольких наблюдаемых целей на проходе (без остановки антенны). Дальность и азимут определялись по отметке в вертикальном луче. Так продолжалось до появления фазированных антенных решёток, резко изменивших внешний вид радиолокационных средств.

Обе РЛС, базировавшиеся в основном на однотипной аппаратуре, существенно отличались по излучаемой мощности, дальности и верхней границе обнаружения. В состав РЛС **«Обсерватория»** входила радиоретрансляционная линия для передачи радиолокационной информации. РЛС обнаруживала бомбардировщики на дальности до 400 км при верхней границе обнаружения до 16 км. РЛС **«Перископ»**, где впервые была применена когерентно-импульсная аппаратура для защиты от пассивных помех, позволяла обнаруживать самолёты с дальности до 200 км при высоте до 13 км. РЛС обеспечивали высокие точности определения координат: ± 500 м — по дальности, $\pm 0,5^\circ$ — по азимуту, 400 м — по разрешению (высоте). РЛС П-20 стала основой семейства таких РЛС, как П-25, П-30, П-35, П-37, 1Л-117.

При разработке РЛС **П-50, П-20 и П-30** был накоплен большой опыт по освоению новых диапазонов. Вместе с тем из-за больших потерь на

передачу (более 3 дБ) при использовании антенной системы в варианте «V-луч» для определения высоты цели в нашей стране и за рубежом считалось более целесообразным применять РЛС, построенные по принципу дальномер-высотомер.

Бурное развитие радиолокация получила в середине минувшего столетия, когда были разработаны новые типы мощных СВЧ генераторов. Наряду с магнетронами стали широко применяться клистроны, амплитроны и другие СВЧ электровакуумные приборы, обеспечивавшие высокие импульсные мощности в несколько мегаватт при средней мощности в киловатты. Одновременно с техникой генерирования были созданы электровакуумные и полупроводниковые приборы, которые позволили значительно повысить чувствительность приёмных устройств и разрабатывать другую аппаратуру РЛС с более высокими характеристиками. В этот же период началось использование ЭВМ в аппаратуре обработки радиолокационной информации.

Созданные в то время первые отечественные зенитно-ракетные системы (ЗРС) в своём составе имели как обзорные РЛС, так и РЛС сопровождения целей и наведения ракет. Появление межконтинентальных баллистических ракет (БР) определило необходимость проектирования радиолокаторов обнаружения малоразмерных высокоскоростных целей на больших дальностях. Эти РЛС стали основой для создания систем противоракетной обороны (ПРО), предупреждения о ракетном нападении, контроля космического пространства и противокосмической обороны.

Начало этих работ относится к середине 1950-х гг. По сравнению с существовавшими в то время РЛС противосамолётной обороны дальность действия РЛС, предназначенных для работы по космическим целям с большими скоростями, должна была возрасти на порядок. Задача усложнялась тем, что эффективная поверхность рассеяния головных частей (ГЧ) БР была значительно меньше по сравнению с ЭПР самолётов. Поэтому требовалось увеличение энергетического потенциала РЛС в десятки тысяч раз.

В первых системах ПРО трудная задача точного сопровождения ГЧ и наведения противоракеты решалась с помощью многопозиционной радиолокационной системы, состоявшей из трёх импульсных РЛС, работавших в коротковолновой части дециметрового диапазона и расположенных в вершинах правильного треугольника со стороной около 150 км. Точность измерения дальности каждой РЛС была порядка 5 м. Для измерения координат и сопровождения целей использовался метод трёх дальностей. Система обнаруживала и начинала сопровождение ГЧ ракеты на дальности до 700 км.

В первой отечественной высокопотенциальной РЛС дальнего обнаружения и предупреждения «Лена» (П-14) с энергетическим потенциалом (произведением средней мощности передатчика на эффективную площадь антенны) 500 кВтм² защита от активных помех обеспечивалась за счёт перестройки несущей частоты. Система автоматической подстройки частоты обеспечивала необходимое сопряжение частот гетеродина приёмника и генератора СВЧ передатчика во всём диапазоне перестройки. Для защиты от пассивных помех использовалась когерентно-импульсная система СДЦ. Необычная для РЛС метрового диапазона волн антенна зеркального типа размером 32 × 11 м формировала косекансквадратную диаграмму направленности с верхней границей зоны обнаружения

45 км (с одним провалом). При импульсной мощности 700–900 кВт РЛС обеспечивала обнаружение одиночного истребителя типа МиГ-17 с дальности 400 км при высоте 20 000 м. Стабильно работающая аналоговая система СДЦ в сочетании с хорошей зоной обзора сделала РЛС незаменимой для надёжного обнаружения низколетящих целей. Дальнее обнаружение и устойчивая проводка радиолокационных целей при чёткой и контрастной отметке на ИКО содействовали популярности станции в среде авиационных штурманов наведения.

РЛС П-14 позволяла успешно контролировать даже посадку орбитальных космических аппаратов (начиная с высоты 70–80 км), вплоть до их приземления. Эта специальная задача выполнялась Войсками ПВО на регулярной основе в течение многих десятилетий с использованием РЛС только этого типа. РЛС П-14, как и её последующие модификации, была исключительно надёжной в эксплуатации и стала базовой радиолокационной станцией разведки и наведения вдоль всей приграничной зоны бывшего Советского Союза, включая Крайний Север, острова и пустынные районы. Всего был выпущен 731 комплект РЛС, 24 поставлено на экспорт.

В дециметровом диапазоне длин волн мощная трёхкоординатная РЛС **«Памир» (П-90)** была первой отечественной РЛС с параллельным обзором пространства, что позволило наряду с измерением угла места обеспечить условия для подавления пассивных помех. Каждая из двух антенн, развёрнутых на 180°, имела систему парциальных каналов для измерения угла места амплитудным моноимпульсным методом.

Требования к радиолокационным средствам дальнего обнаружения и наведения универсального применения для РТВ ПВО, ВВС и ВМФ в полной мере удалось реализовать в РЛК **«Алтай» (П-80)**, в состав которого входили четыре радиовысотомера для измерения высоты целей, обнаруженных двумя дальномерами. Помехозащищённость дальномеров от пассивных помех обеспечивалась системой СДЦ, а от активных помех — путём оперативной перестройки несущих частот в каналах дальномеров. Кроме того, в дальномерные каналы комплекса были введены средства защиты от несинхронных и ответных помех. В зависимости от помеховой обстановки реализовывался амплитудный или когерентный режим работы РЛК.

Успешная разработка теории сложных сигналов создала необходимые предпосылки для проектирования РЛС с использованием таких сигналов. Результатом исследований и экспериментов по сжатию импульсов стала разработка качественно новых РЛС с уникальными тактико-техническими характеристиками. Среди них стационарная двухкоординатная РЛС дальнего обнаружения повышенной помехозащищённости **«Лена-М» (П-70)** метрового диапазона волн с зеркальной антенной апертурой 48 × 28 м и ЛЧМ зондирующим сигналом. Использование широкополосных сигналов повышенной длительности со сжатием их при приёме повысило разрешающую способность по дальности, точность определения дальности и помехозащищённость от пассивных, активных и, особенно, от комбинированных помех. Повышению помехозащищённости от активных помех способствовало увеличение импульсной мощности передатчика (~ 2 МВт) и введение пространственной поляризационной селекции (горизонтальной и вертикальной). Благодаря увеличению энергетического потенциала до 17 000 кВтм² дальность обнаружения

истребителя на высоте 10 км приблизилась к дальности радиогоризонта (~ 400 км), стало возможным также обнаруживать некоторые типы спутников и баллистических ракет. Дальность в максимуме диаграммы направленности антенны составила 2300 км, верхняя граница обнаружения — до 160 км.

РЛС обеспечивала радиолокационное прикрытие больших территорий и боевые действия ракетных комплексов дальнего перехвата, могла сопрягаться с системой автоматического съёма координат и предназначалась для использования в составе радиолокационных узлов 5Н18 и 5Н55 комплекса ЭЛЕКТРОН и систем «Воздух-1М» и С-100, а также для автономной работы в РТВ Войск ПВО страны.

В трёхкоординатной многофункциональной РЛС «**Машук**» с большой мощностью излучения для обнаружения широкого класса объектов с различными ЭПР (до 0,1–0,3 м²) и получения высоких ТТХ использовался 64-канальный СВЧ-передатчик, автоматическая обработка информации в ЭВМ «Гранит», синхронно вращающиеся антенны передающих и приёмных каналов. Приёмная антенна с 24 парциальными каналами обеспечивала определение угловых координат цели и дальность с высокой точностью, а передающая антенна в виде «столбца» из одинаковых клистронов стала прообразом активной антенной решётки. Необходимое накопление импульсов для обеспечения когерентного режима работы РЛС при последовательном обзоре в угломестной плоскости достигалось за счёт одновременной работы амплитудных каналов с четырьмя когерентными каналами параллельного обзора нижней части угломестной зоны.

В 1970-е гг. расширился круг задач, решаемых радиолокационными средствами. Наряду с повышением разрешающей способности по дальности и скорости в РЛС требовалось повысить скорость и многофункциональность обзора, точность измерения угловых координат. Реализация всех требований стала возможной с развитием теории и техники фазированных антенных решёток (ФАР). Электронные методы сканирования луча ФАР позволили резко сократить время обзора пространства и реализовать его программный обзор, а также адаптивное управление лучами, осуществляемые с помощью средств вычислительной техники. Коротковолновая часть дециметрового диапазона оказалась наиболее пригодной для создания ФАР, поскольку в этом диапазоне уже имелись твердотельные усилители достаточно большой мощности для передатчиков, маломощные усилители для приёмников и другие необходимые компоненты с малыми потерями. Этот диапазон оказался удобным для внедрения печатной технологии изготовления антенн. Поэтому одна из первых обзорных РЛС ПВО с ФАР «**Гамма-Д**» разработана именно в этом диапазоне. Антенная система этой трёхкоординатной твердотельной РЛС состоит из общей активной передающей и полуактивной приёмной ФАР. Она обеспечивает обнаружение и сопровождение целей в условиях воздействия интенсивных пассивных и активных помех на дальностях до 360 км и высотах до 45 км.

Появление высокоскоростных низколетящих целей, трудно обнаруживаемых объектов, созданных по технологии «Стелс», поставили задачу повышения помехозащищённости РЛС обнаружения и сопровождения маловысотных целей. В многофункциональной маловысотной РЛС **СТ-68** на основе ФАР сантиметрового диапазона длин волн использова-

лись два активных и два пассивных канала, что обеспечивало обнаружение по всей зоне обзора по углу места до 10° , пеленгацию постановщиков активных помех и канал радиоразведки. Адаптацию к воздушно-помеховой обстановке обеспечивали:

- система управления зоной обнаружения в двух плоскостях (по углу места от 0° до 6° и по азимуту $\pm 30^\circ$) методом электронно-фазового сканирования;
- применение наряду с основным второго канала с квазинепрерывным излучением более высокочастотного сигнала для улучшения характеристик обнаружения по углам места ниже 1° ;
- автоматизация процессов захвата и сопровождения целей. Применение мобильной вышки для подъёма фазового центра основной и вспомогательной антенны повышало дальность обнаружения.

В трёхкоординатной РЛС **5Н69** дециметрового диапазона длин волн с частотным качанием луча и управляемой энергетикой в вертикальной плоскости использовалась новая по тем временам полупроводниковая элементная база. Это позволило реализовать большое число режимов обзора пространства с различными зонами обнаружения и высокую точность измерения координат. Зеркальная антенна с большим вертикальным раскрытием и волноводно-щелевым облучателем формировала узкий луч в вертикальной плоскости, пространственное положение которого в этой плоскости определялось несущей частотой зондирующего сигнала.

В РЛС внедрён целый ряд перспективных решений по адаптивному зонообразованию и стабильности качества радиолокационной информации, для защиты от активных шумовых и пассивных помех использовалась система корреляционной автокомпенсации. Функционально-узловой принцип построения, блочно-модульное исполнение аппаратуры, разветвлённая автоматизированная система контроля работоспособности с точки зрения эксплуатации стали подлинным прорывом. РЛС обеспечивала информацией АСУ ПВО, сопрягаясь с перспективными и стоящими на вооружении РТВ средствами автоматизации. Преимущество большей информативности РЛС особенно проявлялось при работе по высокоскоростным маневрирующим воздушным объектам. Станция могла обнаруживать цели и измерять их пространственные координаты на самых дальних рубежах (на средних и больших высотах — до 450 км), устойчиво сопровождала аэродинамические цели и некоторые классы оперативно-тактических баллистических ракет и поэтому использовалась в создаваемой в то время системе ПВО Москвы и Центрального промышленного района СССР. Эти возможности были достигнуты за счёт достаточно сложных алгоритмов работы аппаратуры, многоканального построения и большого объёма аппаратуры, реализованной на ИМС малой степени интеграции.

В РЛС «**Небо-СВ**» (**1Л13**) метрового диапазона длин волн была реализована цифровая обработка сигналов (СДЦ, оптимальная фильтрация, 3-канальный автокомпенсатор АШП), автоматический съём координат, автоматический контроль и диагностирование аппаратуры. РЛС могла доукомплектовываться двумя выносными ИКО и кабелями сопряжения с потребителями радиолокационной информации (РЛИ). Антенная система РЛС состояла из основной антенны в виде плоской эквидистантной решётки из 72 излучателей и дополнительной трёхэлементной решётки,

установленной с обратной стороны основной антенны для формирования диаграммы направленности компенсационного канала защиты от АШП со стороны задней полусферы. Заданная для станции зона обзора в угломестной плоскости обеспечивалась путём оперативного электро-механического наклона антенной решётки в вертикальной плоскости на 3 фиксированных угла. Передающее устройство с мощным усилителем на электровакуумном приборе — широкополосном эндотроне формировало фазоманипулированный зондирующий сигнал. Аппаратура приёма и обработки сигналов формировала информационные потоки, поступающие на ИКО и систему автосъёма информации. Эта система осуществляла измерение и кодирование координат целей с учётом их высоты (угла места), получаемой от сопряжённого со станцией радиовысотомера (**ПРВ-13, ПРВ-16, ПРВ-17**), и выдавала их потребителям (КП збрр С-300В и БУК, ПУ рлр ПОРИ-П1, ПОРИ-1М и др.) и на ИКО, два из которых были выносными. Имитатор для тренировки расчёта РЛС формировал сигналы до 20 «своих» и «чужих» целей, сигналы опознавания и различные виды помех. Аппаратура опознавания состояла из серийно выпускаемого НРЗ с соответствующим антенно-поворотным устройством.

РЛС **1Л13** стала основным средством разведки воздушного пространства в ПВО СВ, образуя дежурное радиолокационное поле в оперативном звене войсковой ПВО. Высокие боевые и эксплуатационные характеристики этой станции неоднократно подтверждались на различных учениях и при боевых дежурствах формированиями ПВО СВ в составе групп наших войск за рубежами бывшего СССР.

В созданной к началу 1980-х гг. ЗРС С-300П использовалась трёхкоординатная РЛС обнаружения и целеуказания сантиметрового диапазона длин волн **64Н6Е**, способная обнаруживать цели на дальности до 200 км на высотах до 10 км и сопровождать одновременно до 100 целей. В ЗРС входит также РЛС подсвета и наведения **30Н6Е**, работающая в коротковолновой части сантиметрового диапазона длин волн с дальностью обнаружения аэродинамических целей 150 км, стратегических крылатых ракет на высотах 6–100 м — до 38 км и баллистических целей — 40 км.

К концу 1980-х гг. радиолокация достигла рубежа, когда были практически исчерпаны резервы по мощности излучаемых сигналов, диапазону используемых частот, размерам апертуры антенн. Необходимость повышения информативности радиолокационных средств и их помехозащищённости стимулировала развитие оптимальных методов обработки радиолокационной информации.

В трёхкоординатной мобильной РЛС «**Противник-ГЕ**» (**59Н6Е**) боевого режима с цифровой ФАР и полностью цифровой пространственно-временной обработкой сигналов при инструментальных пределах работы по дальности 400 км и высоте 200 км и высоком темпе обзора (5 сек.) обеспечиваются обнаружение и сопровождение высокоскоростных объектов с баллистической траекторией полёта. Благодаря высоко расположенному фазовому центру антенны достигнуты обнаружение низколетящих целей и достаточно высокая точность измерения угла места. Дальность обнаружения объекта с ЭПР 1,5 м², летящего на высоте 100 м, составляет 40 км. Реализованный в РЛС способ обзора пространства, а также измерение радиальной скорости позволяют уже при первом обнаружении идентифицировать цель. В дальнейшем с учётом измеренной

скорости и направления движения цели в автоматическом режиме производится завязка трассы и сопровождение. Для сопровождения ракет с баллистической траекторией полёта предусмотрен режим управления формой ДН на передачу и приём. Реализуется это качество аппаратно-программными методами. Повышенная боевая эффективность РЛС достигается за счёт:

- сверхнизкого уровня боковых лепестков и фона ДН антенны, что наряду с высокой помехозащищённостью улучшает показатели электромагнитной совместимости;
- адаптации способов обработки сигналов к помеховой обстановке и техническому состоянию локатора, а также адаптивного подавления боковых лепестков ДН антенны;
- высокой точности измерения угла места и высоты, в частности на малых углах места;
- высокоэффективной цифровой СДЦ с элементами структурной адаптации (автоматическим выбором параметров и структуры её организации), осуществляемой во всей зоне видимости и обеспечивающей устойчивую проводку ВО в интенсивных гидрометеорообразованиях;
- возможности выдачи информации потребителям в автоматическом режиме одновременно в два адреса;
- вывода необходимой информации на многоцветный широкоформатный дисплей телевизионного типа, обеспечивающий возможность работы в освещённом помещении;
- высокой степени автоматизации боевой работы (обнаружение, сопровождение, съём координат, определение государственной принадлежности, распознавание класса воздушного объекта, документирование, формирование карты местных предметов и пассивных помех, выдача информации внешним потребителям) и технического обслуживания;
- наличия выносного индикаторного устройства с дополнительными РМО;
- возможности автоматической топопривязки и ориентирования с использованием спутниковых систем ГЛОНАСС и GPS.

Для использования станции в системе УВД предусмотрено встраивание вторичного радиолокатора типа **44Д**.

Радиолокационные средства ЗРС развивались в направлениях, обеспечивающих увеличение дальности действия, число одновременно сопровождаемых целей, высокую автоматизацию и повышенное качество вырабатываемой радиолокационной информации. В мобильной всепогодной ЗРС С-300В используются три специализированные РЛС с ФАР и специальная РЛС непрерывного излучения для «подсвета» цели.

Трёхкоординатная РЛС сантиметрового диапазона **9С15МТ** обеспечивает обнаружение и захват целей в зоне действия по дальности 10–250 км по высоте до 30 км и может одновременно сопровождать до 200 целей.

Трёхкоординатная секторная РЛС обнаружения коротковолновой части сантиметрового диапазона **9С19М2** используется для дополнительного поиска баллистических ракет в секторе $\pm 30^\circ$ на дальностях 20–175 км и может одновременно сопровождать 16 целей.

Трёхкоординатная многоканальная РЛС сопровождения и наведения **9С32-1** ведёт обзор в секторе $0-42^\circ$ на дальности до 150 км, сопровождает до 12 выделенных целей и управляет стартовой позицией ракет-перехватчиков путём передачи данных о цели для предстартовой загрузки ракеты, управления стартом и коррекции движения ракеты на среднем участке её полёта. Эта же РЛС ведёт автоматический поиск вблизи горизонта для обнаружения и захвата низколетящих целей.

В ЗРС средней и малой дальности использовались РЛС дециметрового диапазона для сопровождения и облучения целей и РЛС наведения сантиметрового диапазона. В зенитном ракетно-пушечном комплексе «Тунгуска», предназначенном для защиты стратегических объектов, использовались две когерентно-импульсных РЛС. Первая — дециметрового диапазона, обнаруживает истребители на высотах 25–3500 м при удалении до 20 км. Вторая — сантиметрового диапазона, обеспечивает достаточно точное автосопровождение обнаруженных целей по трем координатам.

В состав современной системы ПРО входят:

- РЛС дальнего обнаружения и целеуказания «**Дунай-3У**» и многофункциональная РЛС «**Дон-2Н**» (**5Н20**) для сопровождения целей и наведения противоракет. Передающая и приемная позиции РЛС «**Дунай-3У**» разнесены на местности. Их антенны представляют собой решётки щелевых волноводов. Основной режим работы — программируемый обзор зоны в заданном секторе. РЛС **5Н20** — уникальная мощная импульсная РЛС сантиметрового диапазона с электронным сканированием во всей верхней полусфере. Поисковые возможности, мощность, разрешающая способность, точность измерения координат позволяют применять эту РЛС для сопровождения целей и наведения противоракет как вне атмосферы, так и в атмосфере при воздействии различных активных и пассивных помех.

Современное состояние радиолокационной техники характеризуется:

- широким использованием твердотельных элементов в антенной технике, а также в передающих и приёмных устройствах;
- развитием методов электронного сканирования (с помощью фазированных антенных решёток), быстрой перестройки по частоте и виду модуляции излучаемого сигнала и других способов оперативной гибкости РЛС;
- освоением сложных методов обработки информации (например, искусственного синтеза апертуры антенны), различных способов сжатия импульсов с целью повышения разрешающей способности и получения оптимальных характеристик станции при наличии помех;
- совершенствованием техники индикации, что позволило перейти от представления «естественной» радиолокационной отметки к сложным системам обобщённого представления информации оператору РЛС;
- широким распространением цифровых методов обработки информации и управления режимами РЛС, сопряжением станций с ЭВМ, созданием адаптивных радиолокационных систем, в которых скорость сканирования и тип излучаемого сигнала изменяются в зависимости от конкретной задачи.

Факторы, определяющие облик и развитие современных систем радиолокации

Основными средствами информационного обеспечения органов военного управления силами ВКО, управления боевым применением огневых средств являются радиолокационные системы.

Требования к информативности радиолокационных средств непрерывно повышаются. Вместе с тем радиолокационные системы оказываются весьма уязвимыми в части их функционирования и живучести ввиду непрерывно растущей мощности средств радиолокационного подавления и эффективности высокоточного оружия (ВТО). Поэтому проблема создания максимально информативных, помехоустойчивых и живучих радиолокационных средств является важнейшей задачей разработки перспективных радиолокационных систем для всех видов и родов ВС РФ.

На облик и развитие радиолокационных средств оказывают влияние различные факторы, важнейшими из которых являются:

- тенденции развития и основные ТТХ современных средств воздушного нападения как составной части средств воздушно-космического нападения (СВКН) и радиоэлектронной борьбы (РЭБ);
- содержание и объём задач, возлагаемых на радиолокационные средства;
- уровень развития технических решений и технологий, обеспечивающих возможность выполнения заданных требований и функциональных задач;
- уровень и тенденции развития компонентной базы (ЭКБ).

Основные тенденции развития средств нападения на современном этапе связаны с качественным совершенствованием авиационной и космической техники и вооружения за счёт внедрения новых технологий, направленных на улучшение лётно-тактических характеристик, снижение радиолокационной заметности, совершенствование средств огневого и помехового подавления, форм и способов их боевого применения.

Наибольшее влияние на облик и развитие радиолокационных средств на период до 2020 г. и дальнейшую перспективу будут оказывать следующие основные факторы:

- научно-технический прорыв и стремительное развитие новейших технологий создания и совершенствования космических комплексов и СВКН в США и экономически развитых странах;
- значительный прогресс в модернизации существующих и создании новых специализированных авиационных средств РЭБ, предназначенных для скрытного ведения разведки систем ПВО (ВКО) и последующего нарушения или затруднения их функционирования как самостоятельно, так и во взаимодействии с другими средствами;
- содержание и объём задач, возлагаемых на виды ВС РФ и Единой системы организации воздушного движения (ЕСОРВД);
- уровень развития базовых и критических решений и технологий.

Развитие основных средств подсистемы разведки и предупреждения о воздушно-космическом нападении определяется тенденциями

развития СВКН передовых стран мира. Это также обеспечивает конкурентоспособность средств радиолокации на мировом рынке вооружений.

Совершенствование лётно-тактических характеристик СВКН связано прежде всего с созданием этих средств на базе гиперзвуковых технологий. Полёт этих средств будет проходить в диапазоне высот от 35–40 до 100–120 км на скоростях от $M = 3$ до $M = 15–20$. Время полёта гиперзвуковых средств будет соизмеримо с полётным временем МБР, а параметры их траекторий не позволят эффективно обнаруживать эти СВКН существующими средствами радиолокации. Разработка специальных космических платформ позволит размещать на них ударные гиперзвуковые летательные аппараты «космос – земля».

Особое внимание уделяется созданию боевых летательных аппаратов, обладающих сниженной радиолокационной (более чем на порядок) заметностью и высокой живучестью. Это существенно уменьшит рубежи выдачи информации и её качество. Большое значение придается созданию боевых беспилотных самолётов (ББС), оснащённых аналогично пилотируемым летательным аппаратам боевым арсеналом вплоть до средств ВТО.

Высокоточное оружие становится все более весомым фактором в разрешении вооружённых конфликтов и представляет для обороняющейся стороны опасность не меньшую, чем тактическое ядерное оружие.

Основным классом противорадиолокационных ракет (ПРР) остается ракета AGM-88 (HARM). Модернизированная ракета AGM-88D с приемником системы GPS позволяет атаковать РЛС после её выключения или применения дипольных и аэрозольных помех, отвлекающих устройств. ПРР нового поколения AARGM будет иметь дальность применения до 200 км.

Совершенствование средств радиоэлектронной борьбы осуществляется в направлениях:

- создания средств радиотехнической разведки, обеспечивающих обнаружение работы РЛС повышенной скрытности и высокоточного их пеленгования;
- внедрения цифровых методов обработки сигналов;
- расширения диапазона частот постановки помех и увеличения количества одновременно подавляемых РЛС и средств связи;
- повышения энергопотенциала станций помех за счёт применения ФАР;
- увеличения количества параметров адаптации помехового сигнала.

Прогнозируемый уровень суммарной спектральной плотности мощности помех может достигать для РЛС метрового и дециметрового диапазонов волн свыше 10 кВт/МГц, для РЛС сантиметрового диапазона волн – до 10 кВт/МГц.

Американская концепция ведения радиоэлектронной борьбы предполагает наличие двух основных авиационных подсистем: на базе специализированных самолётов РЭБ групповой защиты; на базе БЛА и автономных воздушных ложных целей.

В качестве специализированных самолётов РЭБ групповой защиты на период до 2015 г. останутся самолёты EC-130H (Compass Call) и EA-6B (Prowler).

Основу бортового оборудования самолёта ЕС-130Н составляет автоматизированный комплекс радиоэлектронного подавления Rivet Fire. Он обеспечивает ведение радиоразведки в диапазоне 20–1500 МГц и постановку одновременно 20 шумовых помех мощностью 800 Вт каждая, прицельных по частоте в диапазоне частот 20–1000 МГц на дальностях до 300 км.

В результате модернизации бортового оборудования самолёта EA-6В планируется расширить диапазон частот радиоэлектронного подавления РЛС с 12 до 40 ГГц, увеличить до нескольких десятков количество одновременно подавляемых частот. Станция радиотехнической разведки значительно повысит точность определения координат РЛС и целеуказания ПРП AGM-88 (HARM), входящих в боекомплект самолёта (до шести единиц).

Завершается создание на базе палубных истребителей FA-18F специализированных палубных самолётов РЭБ EA-18G (Growler).

Комплексное применение в локальных военных конфликтах последнего десятилетия разведывательных систем высокой точности (до десятков метров) и управляемого авиационного вооружения, оснащенного инерциальными навигационными системами, сопряжёнными с космической радионавигационной системой, свидетельствует о претворении в жизнь концепции уничтожения системы ПВО противника.

Анализ применения, начиная с 1990-х гг., авиации в локальных войнах свидетельствует об устойчивой тенденции увеличения доли высокоточного оружия в общем количестве использованных средств поражения. По мнению американских экспертов, если в 1991 г. всего 7% оружия можно было отнести к категории высокоточного, то к 2008 г. его доля составила около 95%.

Высокоточное оружие за последнее десятилетие совершило качественный скачок в своем развитии, существенно расширив возможности по преодолению и огневому подавлению систем ПВО, поражению объектов в любой точке земного шара, в любое время суток и в любых климатических условиях. Отодвинулись рубежи пуска ВТО, снизилась его заметность, увеличилась скорость полёта, стали использоваться комбинированные системы наведения. Повышение точности стрельбы высокоточного оружия существенно повысит эффективность применения ВТО, поскольку если удвоение мощности заряда повышает поражающую способность ракеты на 40%, то двукратное повышение точности увеличивает её поражающую способность на 400%.

Помимо традиционных классов ВТО («воздух – земля» и «воздух – воздух») разрабатываются перспективные системы «космос – земля», «космос – воздух» и «космос – космос», в том числе гиперзвуковые (со скоростью полёта более 1400 м/с) с дальностью стрельбы от сотен до тысяч километров. Широко применяются высокоточные авиабомбы от малого до сверхбольшого калибра, авиационные кассеты, управляемые артиллерийские снаряды и автономные авиационные боеприпасы. На рубеже 2015–2020 гг. ожидается появление высокоскоростных (5–8 М) крылатых ракет (КР) космического, воздушного и морского базирования, изготовленных по технологии «Стелс», с дальностью стрельбы от 500 до 10 000 км и высотой полёта от 5 до 60 км. Эти ракеты будут совершать полёт в режиме радиомолчания с коррекцией траектории с помощью спутниковой навигации. Состоящие на вооружении самолёты

трансформируются в средства доставки высокоточных КР до рубежей пуска. Для этих же целей будут использоваться и БПЛА.

Для перегрузки информационных и огневых средств ВКО в составе ударных сил воздушного нападения в большом количестве (до нескольких сотен) используются специальные отвлекающие цели-ловушки.

Противоборство сторон переместится из области полётов пилотируемой авиации в область действия высокоточных крылатых ракет на предельно малых высотах, а также в приземное космическое пространство, где задействованы космические средства и высокоточные баллистические ракеты.

Создание научно-технического задела для перспективных РЛС невозможно без развития базовых и критических решений и технологий. Критическое научно-технологическое отставание в области отечественной электронной компонентной базы и технологий планируется ликвидировать в рамках «Стратегии развития электронной промышленности России на период до 2025 года».

Особенность современного этапа развития РЛС состоит в том, что их ТТХ практически достигли своих предельных значений в рамках используемых схемных и технологических решений конца прошлого века. В этих условиях для повышения характеристик РЛС требуются принципиально новые научные и технические решения.

Основные цели и направления развития систем радиолокации на период до 2020 года и дальнейшую перспективу

Основными целями развития отечественных средств радиолокации являются:

- реализация в образцах тактико-технических характеристик, которые соответствуют оперативно-тактическим задачам, поставленным перед радиолокационными системами видами ВС, ЕСОрВД, и экономическим возможностям государства;
- предотвращение военно-технического и технологического отставания России в области радиолокации от экономически развитых государств и обеспечение конкурентоспособности образцов средств радиолокации на мировом рынке вооружений;
- сохранение и развитие научного оборонно-промышленного потенциала страны в области создания средств радиолокации.

Основные направления развития средств радиолокации включают:

- внедрение в РЛС наиболее передовых технических решений и технологий;
- повышение уровня автоматизации процессов обработки радиолокационной информации и степени адаптивности РЛС к условиям функционирования и предъявляемым требованиям;
- создание средств обнаружения воздушных целей на нетрадиционных принципах локации;
- повышение надёжности, ремонтпригодности и долговечности аппаратуры, снижение энергопотребления и массогабаритных характеристик РЛС;

- обеспечение унификации, специализации и автоматизации разработки и производства средств радиолокации;
- обеспечение научно-технической и технологической независимости в разработке и производстве РЛС.

Широкий диапазон требований, предъявляемых к средствам радиолокации различными потребителями, препятствует одновременному их выполнению в РЛС одного типа в силу технико-экономических ограничений. Реализация этих требований возможна путём создания унифицированных рядов блочно-модульных РЛС межвидового применения.

В условиях усиления конкуренции и снижения издержек разработки и производители радиолокационной техники стремятся максимально унифицировать компоненты и системы в целях реализации эффекта масштаба. Главная задача унификации – создание единой конструкторской документации на максимально возможную часть аппаратуры и унифицированных средств на базе параметрических рядов, снижение расходов на эксплуатацию.

Унификация РЛС должна проводиться исходя из того, что широкий спектр требований к изделиям со стороны различных видов ВС РФ и ЕСОРВД обуславливает необходимость создания изделий различного типа в требуемой номенклатуре, отличающихся диапазоном волн, дальностью действия, уровнем помехозащищённости, местом установки, мобильностью, массой и т. д.

В связи с этим одним из важных направлений развития РЛС является внедрение ресурсосберегающей технологии унифицированного блочно-модульного построения их аппаратуры.

К основным направлениям научно-технической и производственной деятельности по созданию радиолокационных систем ВКО в настоящее время и на перспективный период можно отнести проведение работ по:

- двух- и трёхкоординатным обзорным наземным подвижным и мобильным радиолокационным станциям МДВ;
- трёхкоординатным обзорным подвижным и мобильным РЛС дециметрового диапазона длин волн;
- двухкоординатным обзорным РЛС вертолетного базирования;
- трёхкоординатным малогабаритным обзорным РЛС поля боя;
- комплексам обнаружения малозаметных низколетящих объектов методом «локации на просвет»;
- радиолокационным станциям обнаружения целей на малых высотах наземного и морского базирования;
- высокотехнологичным твердотельным РЛС обнаружения и целеуказания, входящим в состав зенитно-ракетных и ракетно-пушечных комплексов малой дальности, кораблей малого водоизмещения и катеров;
- высокотехнологичным твердотельным РЛС обнаружения и целеуказания, входящим в состав ЗРК, кораблей большого и среднего водоизмещения;
- радиолокационным станциям обнаружения, наведения и целеуказания средних и больших высот с различными предельными рубежами обнаружения наземного и морского базирования;
- наземным РЛС обнаружения программного обзора;
- наземным пассивным и активно-пассивным радиолокационным комплексам обнаружения;

- вторичным радиолокаторам, в том числе и комплексированным;
- комплексам средств мобильных радиолокационных подразделений;
- средствам защиты РЛС от самонаводящегося по излучению высокоточного оружия;
- трассовым и аэродромным РЛС в интересах управления воздушного движения.

Работы предприятий в интересах инозаказчиков по оборонной тематике должны сочетаться с интересами и потребностью Российской армии. На рынке радиолокационной техники и информационных технологий ОАО «ФНПЦ «ННИИРТ» и ОАО «ВНИИРТ» обеспечивают разработку и поставку около 70% объемов РЛС дежурного и боевого режимов метрового, дециметрового и сантиметрового диапазонов длин волн наземного, морского и воздушного базирования для ВВС, СВ и ВМФ. Тесно взаимодействуя, два специализированных института — ВНИИРТ и ННИИРТ — участвуют в формировании программы развития радиолокации на перспективный период, ориентированной на потребности отечественного и зарубежного рынков и расширяющей сферу применения создаваемой техники. В реализации этой программы участвуют также заводы — изготовители радиолокационных средств.

На базе новейших радиолокационных технологий к настоящему времени создан ряд конкурентоспособных изделий нового поколения для различных видов Вооруженных Сил и экспортных поставок. Номенклатура разрабатываемых и серийно выпускаемых ННИИРТ и ВНИИРТ радиолокационных средств перекрывает широкий диапазон радиолокационной информации по рубежам обнаружения и высоте.

Эти РЛС способны интегрироваться в информационное поле ВКО. А при их комплексировании с РЛС воздушного и космического базирования возможно формирование глобального информационного поля, являющегося частью Единого информационного пространства ВС РФ и представляющего собой совокупность информационных ресурсов системы ВКО, упорядоченную по единым правилам и принципам сбора, формирования, хранения и распределения информации, с единым центром управления и мультисервисной наземно-космической сетью связи.

Задачи и возможности современных средств радиолокационного обеспечения ВКО

Высокие информационные возможности и способность интегрироваться с источниками информации различных принципов действия определяют приоритетное значение радиолокационных средств в системе воздушно-космической обороны (ВКО). Особое место обусловлено **задачами**, которые решаются с помощью этих средств:

- разведка воздушной и космической обстановки;
- вскрытие (выявление) радиоэлектронной обстановки, признаков подготовки к воздушно-космическому нападению и оповещение о них органов государственного и военного управления;
- контроль использования воздушного и космического пространства.

Радиолокационные средства ведут радиолокационную разведку в приграничной полосе и на наиболее опасных направлениях в целях со-

временного обнаружения воздушных и надводных судов — нарушителей государственной границы, осуществляют радиолокационное обеспечение пунктов управления Вооруженными силами при решении задач боевого дежурства, частей и подразделений зенитно-ракетных войск, военной авиации, радиоэлектронной борьбы при ведении боевых действий. Информация, полученная с помощью этих средств, используется с целью управления полётами для авиации всех ведомств. В настоящее время определяющая тенденция развития радиолокационных средств связана с формированием Единой информационно-разведывательной системы ВКО.

Условия функционирования РЛС в мирное время характеризуются отсутствием организованного радиопротиводействия, в особый период радиолокационные средства будут функционировать в сложной воздушно-помеховой обстановке, для которой характерно преднамеренное помеховое и огневое воздействие на средства радиолокации, в том числе с использованием самонаводящегося высокоточного оружия (ВТО).

Развитие всех составных частей подсистемы разведки воздушно-космического пространства увязано с направлениями и целями развития СВКН передовых стран. В соответствии с прогнозируемым уровнем СВКН **перспективные образцы РЛС должны обеспечивать:**

- обнаружение, определение государственной принадлежности и сопровождение средств воздушного нападения всех основных типов и, прежде всего, самолётов стратегической и тактической авиации (в том числе типа «Стелс»), беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), крылатых, аэробаллистических и гиперзвуковых ракет и их боевых блоков, а также нестратегических баллистических ракет как в мирное время, так и в условиях сложной воздушно-помеховой обстановки в особый период;
- распознавание классов воздушных объектов и, прежде всего, выделение отвлекающих целей-ловушек;
- выдачу радиолокационной информации с характеристиками точности, достоверности и производительности, соответствующими требованиям пунктов управления ВС и центров управления воздушным движением (УВД) при решении ими задач по охране государственной границы в воздушном пространстве, противовоздушной обороне и радиолокационному обеспечению полётов (перелётов) авиации всех ведомств;
- возможность длительной непрерывной работы с параметрами безотказности и ремонтпригодности аппаратуры, при которых достигается достаточно высокая боеготовность средств радиолокации;
- уровень мобильности, соответствующий уровню мобильности сил и средств ВКО.

В связи с возрастанием роли маневренных средств в информационном обеспечении сил ВКО одним из важных требований к мобильным РЛ средствам является уменьшение числа транспортных единиц и сокращение времени их развёртывания и свертывания на боевой позиции. В целях выполнения этих требований возникает необходимость реализации в аппаратуре мобильных РЛС боевого режима функций автоматизированных пунктов управления, что, как правило, осуществляется на уровне отдельных радиолокационных подразделений.

Для решения указанных задач современные РЛС должны обеспечивать: – значительные рубежи обнаружения малоразмерных и малозаметных целей;

- высокий темп выдачи информации;
- малое время завязки трасс (для сопровождения скоростных целей);
- расширенную зону обнаружения в угломестной плоскости;
- большие дальности обнаружения и высокие потолки сопровождения баллистических ракет (БР);
- расчёт точек запуска БР и точек нанесения удара;
- сопряжение непосредственно с командными пунктами (КП) зенитно-ракетных систем и комплексов (ЗРС и ЗРК).

Кроме этого, для успешного функционирования в сложных условиях современного боя при высокой плотности целей и применении противником средств радиопротиводействия и огневого подавления перспективные РЛС должны обладать:

- высокой помехозащищённостью при воздействии активных и пассивных помех;
- высокой защищённостью от воздействия высокоточного оружия и средств радиотехнической разведки высокой точности;
- повышенной скрытностью работы;
- высокой мобильностью;
- повышенной производительностью;
- возможностью высокого разрешения целей, находящихся в составе групп, а также распознавания класса средств нападения для выявления наиболее опасных целей.

Исходя из тенденций совершенствования высокоточного оружия, тактики его применения, можно выделить ряд **новых задач**, которые должны решать современные средства радиолокационного обеспечения системы ПВО и комплексов средств защиты:

- обнаружение целей во всей верхней полусфере, в том числе на углах, близких к зенитным;
- селекция целей, представляющих угрозу для защищаемого объекта (атакующих элементов ВТО);
- обеспечение низкой вероятности поражения РЛС средствами ВТО (за счёт повышения энергетической скрытности и других способов снижения заметности).

Ввиду широкого диапазона требований, предъявляемых к средствам радиолокации различными видами Вооруженных сил и другими потребителями радиолокационной информации, одновременное их выполнение РЛС одного типа в силу технико-экономических ограничений практически не представляется возможным.

Благодаря совершенствованию ЭКБ, бурному развитию цифровой и вычислительной техники становится возможным переход к созданию унифицированных РЛС межвидового применения. Решение такой задачи позволит ограничить номенклатуру РЛС несколькими классами: малых высот, средних и больших высот и специальными РЛС.

Внедрение в разработку радиолокационных средств принципа открытой архитектуры позволяет существенно наращивать ТТХ до уровня требований, определяемых современной и перспективной воздушно-космической обстановкой.

Технология открытой архитектуры предполагает создание различных радиолокационных комплексов (РЛК) на основе типовых конструктивных компонентов, которые можно заменять, наращивать, переформировывать — применительно к назначению РЛК и поставленной задаче.

Повышение наукоёмкости на функциональном уровне является основой функционального развития технологии открытой архитектуры РЛС, в которой приоритетным направлением является снижение аппаратуроёмкости за счёт повышения программоёмкости. Аппаратные функции должны ограничиваться только абсолютно необходимыми (генерирование и излучение сигналов, приём эхосигналов), остальные функции должна обеспечивать вычислительная техника, оснащённая соответствующим программным профилем. При этом все аппаратные компоненты должны создаваться по технологии открытой архитектуры.

Необходимая эффективность управления объектами с открытой архитектурой будет достигаться при высокой степени автоматизации на основе элементов искусственного интеллекта.

Анализ характеристик существующих РЛС показывает, что решение всего комплекса перечисленных выше задач путём совершенствования параметров РЛС кругового обзора с механическим вращением антенны **затруднительно** при её приемлемой стоимости и массогабаритных характеристиках. В радарх дециметрового и сантиметрового диапазонов длин волн с круговым механическим обзором пространства для реализации требуемых характеристик необходимо значительное повышение их энергетического потенциала и увеличение скоростей вращения антенн, что с технико-экономической точки зрения не оправдано.

Требуемые характеристики сопровождения высокоскоростных и баллистических целей, распознавание классов воздушных объектов по сигнальным признакам, реализацию активного противодействия средствам радиоэлектронного подавления (РЭП) эффективно можно реализовать путём двумерного электронного сканирования диаграмм направленности антенн.

Электронное сканирование позволяет решать задачи оптимизации обзора пространства, адаптации РЛС к электромагнитной и воздушной обстановке, т. е. повышать степень интеллектуализации радиолокационных средств, а значит, и качество радиолокационной информации.

Перечисленные обстоятельства определили широкое использование в современных РЛС активных фазированных антенных решёток (АФАР).

Одним из основных и наиболее сложных вопросов при проектировании РЛС является выбор рабочего диапазона частот. Выбор определяется совокупностью различных факторов, таких как:

- зависимость эффективной поверхности рассеяния целей от частоты;
- помехозащищённость;
- величина затухания электромагнитной энергии в атмосфере и дожде;
- уровень мешающих отражений;
- точность измерения координат;
- мобильность;
- стоимость;
- сложность создания наводящегося по радиолокационному излучению ВТО (противорадиолокационных ракет), др.

Одни из этих факторов обуславливают преимущества более высоких частот, другие — более низких.

С точки зрения выбора диапазона частот требования по энергетике и точности являются во многом противоречивыми: высокий энергетический потенциал проще получить на более низких частотах за счёт больших значений эффективной площади рассеяния целей и размеров антенны, а необходимый для высокоточного сопровождения узкий луч можно сформировать при меньших размерах антенны на более высоких частотах. Современные технологии радиолокации позволяют сделать новый шаг, связанный с созданием многодиапазонного радара. Радиолокационный комплекс из двух-трёх активно взаимодействующих РЛС различных диапазонов объединяет достоинства РЛС низкочастотного (метрового) диапазона волн как первичного обнаружителя целей, с достоинствами РЛС высокочастотного (дециметрово-сантиметрового) диапазона, позволяющими создать электронно-управляемый карандашный луч с концентрацией энергии для сопровождения целей и точного измерения координат. Подобное построение позволяет по целеуказанию РЛС МДВ создавать в дециметровом диапазоне волн значительные плотности излучения в направлениях на конкретные цели и в угрожаемые сектора.

Решение задачи эффективного адаптивного взаимодействия РЛС различных диапазонов волн требует, чтобы их режимы, значения параметров зондирующих сигналов и пространственных диаграмм направленности могли изменяться в широких пределах. При этом задача адаптивного поиска оптимальной совокупности параметров и режимов РЛС сложна, особенно в условиях помех, и требует высокой степени интеллектуализации алгоритмов пространственно-временной обработки и программного обеспечения. Современные аппаратно-программные вычислительные средства способны решать задачи такого уровня. Полноценная реализация идеи многодиапазонного комплекса возможна при условии выполнения РЛС в виде мобильных многофункциональных твердотельных активных цифровых ФАР с двумерным электронным сканированием, использованием современных компьютерных технологий и достижений СВЧ техники.

Основные тенденции развития на ближайшую перспективу радиолокационной техники класса подвижных трёхкоординатных РЛС контроля воздушного пространства на средних и больших высотах с энергетическим потенциалом до $(2-5) \times 10^5 \text{ Вт} \times \text{м}^2$ связаны с:

- увеличением дальности обнаружения и эффективности работы по малоразмерным и высокоскоростным (в т. ч. баллистическим) целям, а также целям, выполненным по технологии «Стелс»;
- повышением точности измерения координат целей (трасс) и разрешающей способности;
- уменьшением количества ложных трасс целей;
- повышением эффективности обнаружения низколетящих целей, в т. ч. зависших вертолётов, на фоне интенсивных отражений от подстилающей поверхности и местных предметов;
- расширением классов и типа распознаваемых целей, увеличением вероятности точного распознавания;
- обеспечением высокой огневой и помеховой устойчивости к воздействию средств ВТО и радиоэлектронного подавления;

- объединением разнодиапазонных РЛС в радиолокационный комплекс, выполняющий функции пункта обработки и распределения радиолокационной информации;
- повышением надёжности и технического ресурса, улучшением эргономических показателей РЛС;
- созданием рядов межвидовых унифицированных РЛС.

Наращивание боевых возможностей перспективных РЛС возможно за счёт:

- модульности построения изделия с открытой архитектурой и использования удачных технических решений ранее разработанных устройств;
- оптимального проектирования составных частей РЛС (антенных систем, передающих и приёмных систем, систем пространственно-временной обработки, системы электроснабжения) на основе новой ЭКБ, материалов, широкого использования современной вычислительной техники;
- использования широкополосных и сверхширокополосных зондирующих сигналов и оптимальных алгоритмов обработки сигналов, устойчивых при воздействии нестационарных помех;
- адаптивных способов обзора пространства, учитывающих помеховую обстановку и целераспределение в зоне действия РЛС;
- комплексирования активных радиолокационных средств ведения разведки с пассивными, в том числе с источниками данных радиотехнической разведки;
- повышения помехоустойчивости и скрытности работы за счёт использования широкополосных сигналов;
- конструктивного исполнения, обеспечивающего высокую технологичность изготовления РЛС и уменьшающего стоимость её жизненного цикла — совокупности начальной стоимости, стоимости эксплуатации, обслуживания и затрат на содержание обслуживающего персонала;
- повышения живучести РЛС (способности противостоять внешним воздействиям и восстанавливать работоспособность при наличии отказов и повреждений).

Современные боевые конфликты выявляют недостаточную живучесть радиолокационной техники — любые наземные РЛС уничтожаются в течение очень малого времени после начала развёртывания. Живучесть, являясь одним из самых важных свойств радиолокационных систем, характеризует их способность выполнять свои функции в условиях реальных воздействий среды и противодействия. Если РЛС обладает низкой живучестью, т. е. не способна сохранять работоспособность в условиях реальной боевой обстановки, то её использование теряет смысл при любых, даже самых высоких показателях эффективности функционирования.

Задача повышения защищённости РЛС от ВТО — одна из самых важных в комплексе проблем повышения живучести. В связи с этим важным направлением повышения живучести РЛС наземного базирования является повышение их мобильности. Решение этой задачи достигается за счёт уменьшения времени, затрачиваемого на свёртывание и развёртывание, и способности быстро изменить своё местоположение.

Особую роль среди мер, направленных на увеличение живучести, играет повышение скрытности излучений РЛС, которая обеспечивается

использованием сверхширокополосных сигналов с поимпульсной перестройкой несущей частоты излучаемого сигнала, адаптивным к дальности цели управлением мощностью зондирующих сигналов, временной регламентацией излучения с широким применением режимов прогноза (экстраполяции).

Весьма действенным способом защиты РЛС от высокоточного оружия является пространственный разнос отдельных её частей с соответствующей организацией их работы в рамках единой многоканальной системы наведения с активными, полуактивными и пассивными режимами работы.

Выявление угроз и их ликвидация — одно из важнейших направлений повышения живучести РЛС. В рамках этого направления можно выделить ряд взаимосвязанных приемов. Первый связан с увеличением дальности обнаружения пуска авиационных ракет противника. Второй основан на повышении достоверности ранжирования угроз по степени их важности, а третий базируется на непосредственном устранении угроз, направленных на поражение РЛС либо её носителей.

Перспективность радиолокационных средств на современном этапе их развития связана с возможностью создания широкоунифицированных обзорных РЛС. Для сокращения временных и стоимостных затрат необходима унификация аппаратуры, программного обеспечения, структурных, схмотехнических и конструкторских решений. Целями такой унификации являются разработка и создание конструктивно и функционально законченных составных частей (макромодулей), которые могут быть использованы для создания перспективных РЛС различного целевого назначения. Такие радары создаются на одинаковых либо близких технических принципах построения, конструкторско-технологических решениях, в них используется унифицированная ЭКБ. Основные принципы построения унифицированных обзорных РЛС заключаются в следующем.

Антенная система РЛС представляет собой активную фазированную антенную решётку с фазовым способом управления положением диаграмм направленности антенн (ДНА) по углу места и с электромеханическим вращением ФАР в горизонтальной плоскости. Фазовый способ формирования и управления положением ДНА в вертикальной плоскости обеспечивает высокую помехозащищённость от АШП, повышенную точность измерения угла места, возможность распознавания «ложных» целей (типа «ловушек»). Формирование приёмных ДНА по углу места реализуется цифровыми методами, обеспечивающими низкий уровень бокового излучения, большой динамический диапазон ФАР на приём, идентичность амплитудно-фазовых характеристик приёмных каналов и адаптацию в условиях помех.

Обзор по углу места осуществляется в РЛС последовательным перемещением группы приёмно-передающих ДНА, так как при этом требуется меньше оборудования, меньшие потери при обработке пачки и имеется возможность изменять темп обзора и сопровождения целей. В качестве передающих устройств используются твердотельные усилители, встроенные в ФАР. Такой вариант построения передающего устройства по совокупности характеристик имеет неоспоримые преимущества перед вакуумным передатчиком.

Для обеспечения высоких характеристик обнаружения целей с широким диапазоном скоростей полёта, а также высокой когерентности в

РЛС используются цифровые методы формирования и обработки сигналов. При этом характеристики зондирующих сигналов (ЗС), алгоритмы и параметры аппаратуры обработки выбираются, исходя из необходимых для обзорных РЛС разрешения, точности измерения дальности и защиты от помех. Цифровое формирование гетеродинных сигналов обеспечивает более высокую когерентность этих сигналов и, как следствие, возможность подавления эхо-сигналов от местных предметов с уровнем 55–60 дБ.

Обработка принятых сигналов после преобразования на промежуточную частоту в цифровой код осуществляется на сигнальных процессорах и ЭВМ с реализацией всех задач временной обработки сигналов, первичной и вторичной обработки информации и сопряжения с потребителями по стандартным цифровым каналам обмена.

На указанных принципах построения Всероссийским НИИ радиотехники создан унифицированный ряд обзорных РЛС: мобильная твердотельная высокопотенциальная РЛС средних и больших высот дециметрового диапазона волн «Гамма-ДЕ» (рис. 1), РЛС обнаружения и целеуказания (СОЦ) ЗРК БД (рис. 2, 3), РЛС обнаружения и целеуказания командных пунктов (СОЦ КП) (рис. 4, 5), корабельные РЛС обнаружения и целеуказания «Фуркэ-Э» (рис. 6). Тактико-технические характеристики этих радаров приведены в табл. 1–4.



Рис. 1
РЛС «Гамма-ДЕ»



Рис. 2
СОЦ на мобильном стенде



Рис. 3
РЛС обнаружения и целеуказания ЗРК БЦ



Рис. 4
СОЦ ППРУ



Рис. 5
РЛСО



Рис. 6
Корабль малого и среднего водоизмещения с РЛС «Фуркэ-Э»

Таблица 1. Характеристики РЛС «Гамма-ДЕ»

Наименование характеристик	Значения		
Зона обзора:			
- по дальности, км	10-400		
- по азимуту, град.	360		
- по углу места, град.	-2...+60		
- по высоте, км	120		
Максимальная дальность / максимальная высота обнаружения:	«Гамма-Д1Е»	«Гамма-Д2Е»	«Гамма-Д3Е»
цели с ЭПР = 1 м ² , км	400/40 (315/120)2	370/40 (315/120)2	310/40 (285/120)2
цели с ЭПР = 0,1 м ² , км	240/40 (230/120)2	210/40 (195/120)2	175/40 (165/120)2
Точность измерения координат:			
- по дальности, м	60-100		
- по азимуту, мин	10-11		
- по углу места, мин	15-18		
Разрешающая способность:			
- по дальности, м	200		
- по азимуту, град.	1,4		

РАДИОЛОКАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

Количество сопровождаемых целей, не менее	200		
Выдаваемая информация	Трассовая, координатная		
Диапазон	Дециметровый		
Период обзора пространства / период обновления информации, с	10/5		
Потребляемая мощность, кВт	170	112	75
Коэффициент подавления отражений от местных предметов, дБ	50		
Время развёртывания, мин	20		
Среднее время наработки на отказ, ч	1000		
Время включения, мин	1,2		

Таблица 2. Характеристики СОЦ

Наименование характеристик	Вариант 1	Вариант 2
Диапазон радиоволн	сантиметровый	
Зона обзора: по дальности, км по азимуту, град. по углу места, град. по высоте, км	1-30 360 0-60 15	1-50 360 0-60 15
Темп обзора зоны / темп сопровождения, с	4/2	4/2
Дальность обнаружения цели с ЭПР 1 м ² , с вероятностью P = 0,5, км	26	47
Подавление отражений от неподвижного местного предмета, дБ	55	55
Точность измерения координат: по дальности, м по азимуту, мин по углу места, мин	50 18-20 30-35	50 15-18 25-30
Разрешающая способность: по дальности, м по азимуту, град. по углу места, град.	150-200 3,2 7	150-200 3,2 7

Размеры ФАР: по ширине, мм по высоте, мм	1776 830	1776 940
Энергопотребление, кВт	2,5-3	10-12
Среднее время наработки на отказ, ч	1800-2000	2000
Среднее время восстановления, мин	60	60

Таблица 3. Характеристики СОЦ КП

Наименование характеристик	СОЦ ППРУ (2РЛ80)	РАСО комплекса «Панцирь-С1» (1РЛ123-Е)
Диапазон радиоволн	S	L
Зона обзора: - по дальности, км - по азимуту, град. - по углу места, град. - по высоте, км	3-50 360 60 15	10; 5; 1 (сопр.) - 200;150; 100 360 от минус 2 до 60 30
Темп обзора зоны / темп сопровождения, с	6; 2 (НЛЦ и ВТО)/2	6/3
Дальность обнаружения цели с ЭПР 1 м ²	44	130
Подавление отражений от неподвижного местного предмета, дБ	≥50	50-55
Точность измерения координат: - по дальности, м - по азимуту, мин - по углу места, мин	100 18 30-35	20-50 25 25
Разрешающая способность: - по дальности, м - по азимуту, град. - по углу места	200 3 7	100 4 5,5
Размеры ФАР: - по ширине, мм - по высоте, мм	1776 940	2800 3400
Энергопотребление, кВт	10-12	30
Среднее время наработки на отказ, ч	≥800	2000
Среднее время восстановления, мин	60	60 (30 для электрических блоков)

Отличительной особенностью РЛСО является её конструктивная компоновка размещения аппаратуры РЛС на одном автомобильном носителе с системой автономного дизельного электропитания, контейнером управления с установленным в него автоматизированным рабочим местом (АРМ) оператора, аппаратурой жизнеобеспечения, системами топопривязки и ориентирования, развёртывания и горизонтирования, автоматизированным комплексом средств связи и передачи данных с двумя антенно-мачтовыми устройствами. Для удобства управления и обеспечения безопасности обслуживающего персонала в комплект станции входит вынесенный на расстояние до 2 км АРМ, связь с которым может быть осуществлена по волоконно-оптическому кабелю.

Антенная система РЛС построена по схеме полуактивной фазированной антенной решётки. В системе пространственной и временной обработки сигналов используются цифровые программируемые сигнально-процессорные устройства высокой производительности, что позволило минимизировать массогабаритные характеристики аппаратуры обработки, а также путём доработки программного обеспечения без доработок аппаратуры успешно решать проблемы, связанные с необходимостью адаптации РЛС к особенностям позиций и условиям эксплуатации (гористая местность, сверхрефракция, проблемы электромагнитной совместимости и т. п.).

В унифицированных РЛС обеспечивается высокая степень автоматизации процессов захвата и сопровождения целей с автоматической привязкой к трассе признаков ОГП, типа целей и с выдачей по ним информации целеуказания в автоматическом режиме.

Таблица 4. Характеристики РЛС «Фуркэ-Э»

Наименование характеристик	Значения
Зона обзора:	
– по дальности, км	150
– по азимуту, град.	360
– по углу места, град.	80
Дальность обнаружения, км (без помех)	
– воздушная цель (ЭПР 1 м ²)	75
– надводная цель	0,95–1,4 от радиогоризонта
Энергопотребление, кВт	25
Дальность обнаружения ПКР (ЭПР 0,02 м ² , высота 5 м), км	12–14
Разрешающая способность:	
– по дальности, м	150–200
– по азимуту, град.	3,2
Темп обзора / сопровождения макс, с	8/2
Одновременно сопровождаемые цели	200
Подавление неподвижного местного предмета (дБ)	50–55

В разведке воздушного пространства неоспоримое преимущество при обнаружении малозаметных целей имеют радары метрового диапазона длин волн на базе фазированных антенных решёток. С точки зрения энергосберегающих технологий разработка и производство РЛС МДВ являются одним из наиболее перспективных направлений, т. к. на единицу объёма разведываемого пространства эти радары расходуют на порядок меньше удельной энергии по сравнению с более высокочастотными РЛС.



Рис. 7
РЛС «Небо-УЕ»

Эти преимущества выдвигают РЛС МДВ в первый ряд источников боевой информации дежурного режима для активных средств ПВО по малозаметным целям. Общим принципом, определяющим облик и ТТХ таких радаров, является практическая реализация научных идей и мировых тенденций в области радиолокации на уровне современных технологических достижений и ЭКБ новейшего поколения. Всепогодные передвижные РЛС МДВ используют цифровые способы формирования и обработки сигналов, новейшие технологии обработки и отображения радиолокационной информации. Такие радары обладают свойствами изделий двойного назначения и используются в интересах различных видов ВС и в системе управления воздушным движением.

В настоящее время наиболее совершенной модификацией из уникального в мировой практике ряда радаров МДВ средних и больших высот, созданных в России Нижегородским НИИ радиотехники, является трёхкоординатная РЛС «**Небо-УЕ**» (**55Ж6-УЕ**) с цифровой фазированной антенной решёткой (рис. 7).

В РЛС в наибольшей степени реализованы достоинства метрового диапазона волн:

- возможность использования антенных решёток большой площади при относительно небольшом числе антенных элементов, что позволяет достичь больших дальностей обнаружения воздушных объектов (ВО) при сравнительно небольших аппаратных затратах;
- высокие рубежи обнаружения и измерения координат современных и перспективных ВО за счёт большей эффективной отражающей поверхности целей, в особенности малоразмерных (ракет, боеголовок) и малозаметных («Стелс»-объектов);
- слабые флуктуации уровня отражённых от целей сигналов из-за малой изрезанности диаграммы направленности вторичного переизлучения (особенно на курсах, близких к радиальным), что обеспечивает устойчивое обнаружение и сопровождение ВО;
- малая интенсивность отражений от гидрометеорообразований, что практически исключает зависимость характеристик РЛС от погодных условий;

- трудности создания противолокационных снарядов и средств постановки помех.

При разработке этой РЛС удалось справиться с проблемой получения высоких точностей измерения угла места (высоты), особенно при малых углах места пространственного положения ВО. Проблема свойственна данному диапазону волн вследствие недостаточно больших по сравнению с длиной волны вертикальных размеров локационных антенн и наличия переотражённых поверхностью земли эхо-сигналов ВО, приводящих из-за интерференции с сигналами, поступающими непосредственно от ВО, к образованию в угломестной пеленгационной характеристике полых участков — «зон нечувствительности». В пределах этих зон результаты измерений практически не зависят от истинного направления на цель и приводят к большим ошибкам измерения высоты в секторе углов, сравнимых с шириной ДН в угломестной плоскости, что соответствует значительным участкам дальности. Реализованный в РЛС «Небо-УЕ» алгоритмический способ уменьшения «зон нечувствительности» обеспечивает формирование в угломестной диаграмме направленности высотомера РЛС зоны пространственной режекции в направлении прихода переотражённых от земли эхо-сигналов ВО, что значительно уменьшает «зоны нечувствительности», в том числе в области малых углов.

Точностные характеристики этой РЛС находятся на уровне лучших мировых образцов РЛС сантиметрового и дециметрового диапазонов волн. Среднеквадратические ошибки измерения угловых координат составляют 1/15–1/20 от ширины луча. С созданием РЛС удалось решить проблемы сопровождения целей с баллистическими траекториями, реализовать возможность распознавания классов целей.

Ситуация с отечественной ЭКБ заставила продолжать работу по оптимизации и дальнейшему развитию выявленных и апробированных научно-технических решений в этой области. Дальнейший шаг в создании радаров МДВ был связан с переходом от вакуумного к полностью твердотельному передатчику. При этом удалось преодолеть ряд принципиальных трудностей.

Антенна РЛС оригинальной крестообразной формы состоит из антенны дальномера, предназначенной для обзора пространства, обнаружения целей и измерения координат дальности и азимута (горизонтальная часть ФАР), и антенны высотомера, обеспечивающей измерение угла места и высоты (вертикальная часть ФАР). В РЛС программным способом с помощью высокопроизводительной специализированной ЭВМ, выполненной на базе сигнальных процессоров, реализован весь комплекс цифровой пространственно-временной обработки сигналов. Кроме того, основные системы РЛС, такие как трассовая обработка, отображение информации, контроль, управление, сопряжение с потребителями, также реализованы программным способом с помощью ЭВМ. Этим достигается малый объём аппаратуры РЛС и, соответственно, её высокая надёжность.

Трёхкоординатная РЛС «Небо-УЕ» дежурного режима с цифровой ФАР и твердотельным передающим устройством обеспечивает автоматическое обнаружение, измерение трёх координат и сопровождение широкого класса современных и перспективных целей (**рис. 8**), а также распознавание их классов, определение госпринадлежности, пеленгацию постановщиков активных помех.

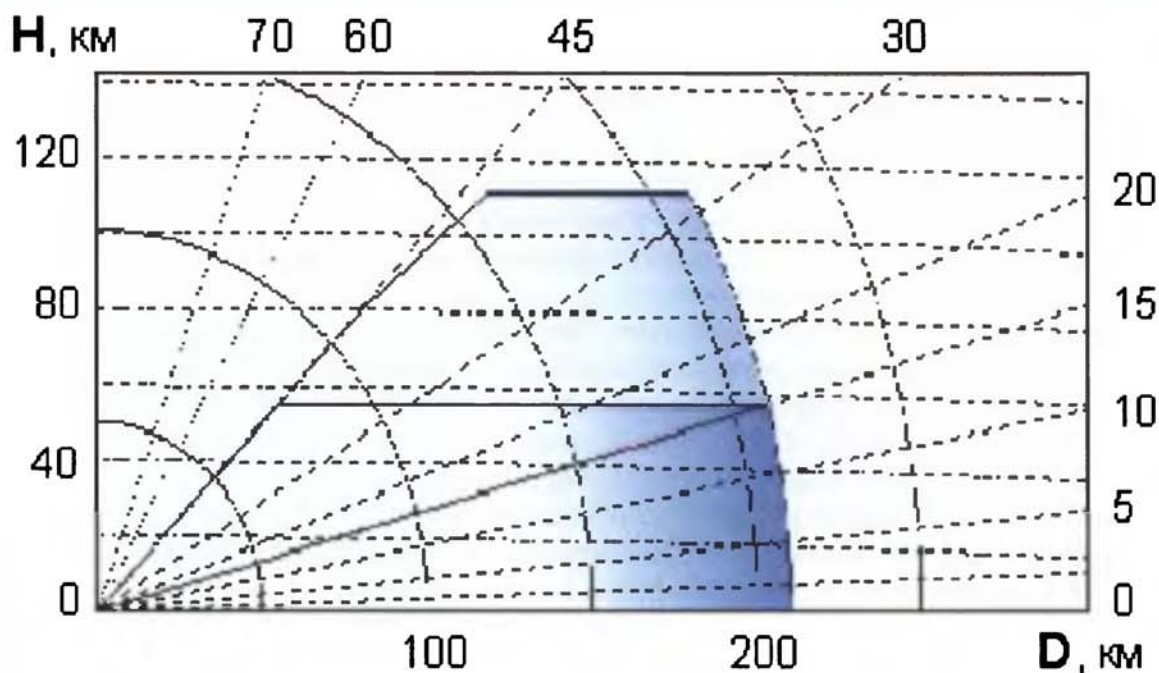


Рис. 8
Зона обнаружения РЛС «Небо-У» самолета F-117 (ЭОП 1 м²)

Тактические характеристики РЛС «Небо-УЕ»	
Зона обзора: по азимуту, град.	360
по углу места, град.	0–16
по высоте, км	0–65
Дальность обнаружения истребителя МИГ-21	
на высоте 10 км	320
Точность измерения координат:	
по дальности, м	100
по азимуту, угловых мин	12
по высоте, м	600



Рис. 9
РЛС «Небо-СВУ»

В этом же диапазоне создана мобильная РЛС «**Небо-СВУ**» (1Л119) с активной ФАР и электронным сканированием зондирующего луча в вертикальной плоскости (рис. 9), обеспечивающим программный обзор в вертикальной плоскости с верхней границей зоны обзора по углу места 45° и по высоте 150 км. РЛС устойчива к воздействию организованных помех, имеет высокие характеристики обнаружения малозаметных воздуш-

ных объектов и позволяет обнаруживать и вести сопровождение наиболее опасных целей с баллистическими траекториями. Весь объём функциональных задач реализуется программным способом, на базе компьютерных технологий: пространственно-временная и вторичная обработка, управление, отображение, контроль, сопряжение, тренаж, документирование. За счёт этого значительная часть радиоэлектронной аппаратуры из состава РЛС заменена программным продуктом, что привело к соответствующему повышению надёжности, снижению трудоёмкости изготовления, стоимости и энергопотребления. Благодаря уникальному сочетанию высоких эксплуатационных и тактико-технических характеристик РЛС имеет перспективы широкого применения в ПВО СВ и ВВС. Радар обеспечивает автоматическое обнаружение, измерение координат и сопровождение широкого класса современных и перспективных целей (**рис. 10**), в том числе выполненных по технологии «Стелс», а также распознавание классов целей, определение госпринадлежности, пеленгацию постановщиков активных помех. Основной отличительной особенностью РЛС является твердотельная активная ФАР. Каждому приёмо-передающему модулю поставлен в соответствие комплект из фазовращателя и аттенюатора, компенсирующий различные неидентичности. Это обеспечивает высокие стабильные характеристики активной ФАР. Фазовращатели позволяют управлять её излучением на передачу и приём в угломестной плоскости, изменяя в зависимости от задачи форму диаграммы направленности от узкого барьерного луча с максимальной концентрацией энергии в области малых углов места до широкоугольной диаграммы. Это расширяет функциональные возможности РЛС и позволяет обнаруживать и сопровождать баллистические цели.

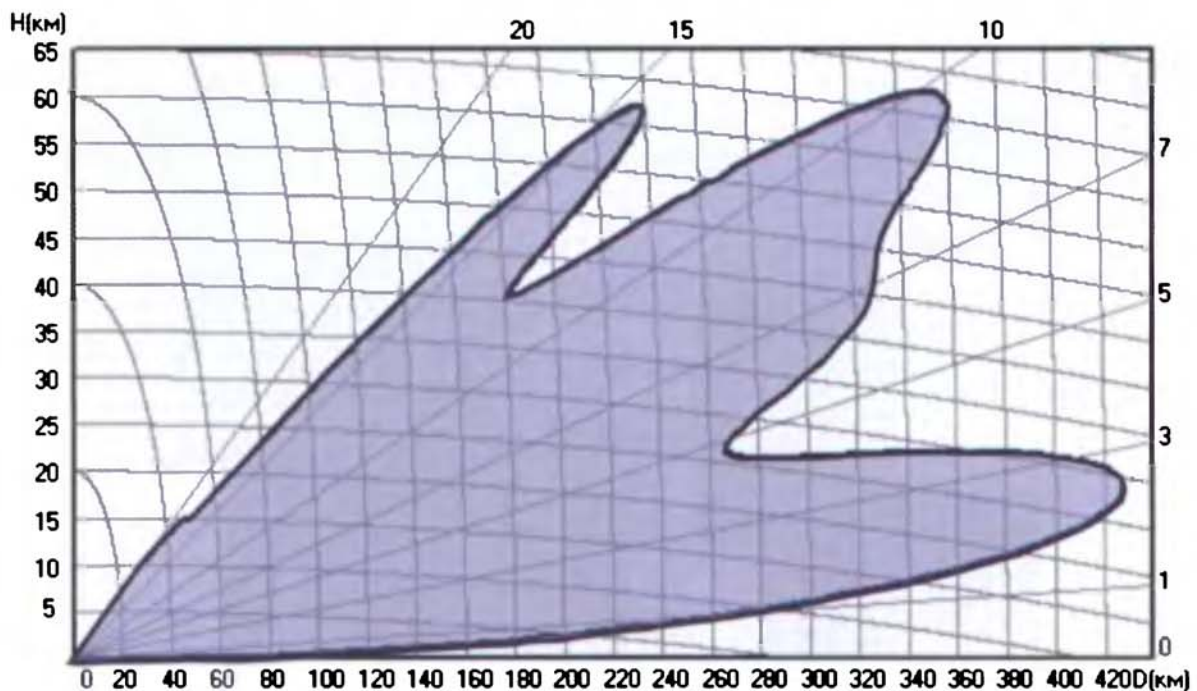


Рис. 10

Зона обнаружения РЛС «Небо-СВУ» оперативно-тактической ракеты с ЭОП=1,4 м²
 1 - Робн=0,8 2 - Робн=0,95 3 - траектория полета цели

Тактико-технические характеристики РЛС «Небо-СВУ»

Зона обзора:	
по азимуту, град.	360
по углу места, град.	0–45
по высоте, км	0–140
Дальность обнаружения истребителя МИГ-21 на высоте 10 км, км	270
Точность измерения координат:	
по дальности, м	100
по азимуту, угловых мин	20
по углу места (для углов более 5°), град.	1,5
Время развёртывания/свёртывания, мин, не более	30

РЛС «Небо-УЕ» и «Небо-СВУ» унифицированы по многим техническим решениям. Эффективная система жизнеобеспечения, встроенные системы имитации, тренажа и поддержки оператора в конфликтных ситуациях, сокращённое число режимов работы и органов управления, высокая степень автоматизации процессов съёма координат, документирования, выдачи информации внешним потребителям и технического обслуживания создают комфортные условия работы эксплуатирующего персонала.

Найденные и проверенные в ходе этой работы технические и технологические решения активно применяются специалистами института в интересах глубокой модернизации ранее разработанных и эксплуатируемых в настоящее время РЛС.

В 2000 г. была выполнена работа по модернизации одного из самых массовых в мире радаров разведки и целеуказания — РЛС П-18. С этой целью был разработан монтажный комплект с использованием современной ЭКБ, который встраивается в аппаратную кабину взамен морально и физически устаревшей аппаратуры (рис. 11).



Рис.11
П-18 до и после модернизации

Замена лампового передающего устройства на твердотельное, введение системы автокомпенсации активных шумовых помех, реализация системы обработки сигналов на цифровых процессорах, введение системы вторичной обработки информации, контроля и диагностики аппаратуры на базе универсальной ЭВМ позволило при сохранении облика и ценных качеств модернизируемой РЛС — малого энергопотребления и низкой стоимости, уменьшить объём аппаратуры, увеличить надёжность станции, повысить помехоустойчивость, улучшить точностные характеристики, обеспечить отображение радиолокационной и служебной информации на цветном видеомониторе ЭВМ, возможность сопряжения станции с современными АСУ. В результате создана практически новая современная РЛС, способная эффективно контролировать воздушное пространство даже в условиях интенсивного радиопротиводействия.

В числе уникальных по техническим решениям и возможностям РЛС, созданных в последние годы Нижегородским НИИ радиотехники, особое место занимают радары дециметрового диапазона длин волн. При создании РЛС «Противник-ГЕ» (рис. 12) решена одна из самых сложных задач современной радиолокации — одновременное обнаружение высокоскоростных ($V \sim 1$ км/с) баллистических ракет и малоскоростных, малоразмерных летательных аппаратов. Регулярная зона обзора во всем диапазоне ожидаемых углов места, высот, дальностей, необходимая для обнаружения и завязки трассы ракеты с пролётным временем в зоне обнаружения несколько десятков секунд, обеспечивается в этой РЛС за счёт параллельного обзора пространства с заданным распределением в вертикальной плоскости излучаемой энергии.



Рис. 12
РЛС «Противник-ГЕ»

В отличие от последовательного такой способ обеспечивает требуемую зону обнаружения и достаточно высокие точности измерения азимута и угла места ВО без использования специальных режимов работы даже при наличии помех различного рода — шумовых, дипольных (пассивных), комбинированных, помех из-за отражений от «местных» предметов и ги-

дрометеообразований («ангелов») и др. Реализованный в РЛС способ обзора пространства обеспечивает максимальный КПД энергетического потенциала при выделении полезных сигналов на фоне мешающих отражений.

РЛС предназначена для автоматического обнаружения, измерения координат и сопровождения аэродинамических, баллистических, а также малоразмерных маловысотных целей. РЛС устойчиво функционирует в условиях интенсивных активных и пассивных помех, обеспечивает определение государственной принадлежности воздушных объектов, пеленгацию постановщиков активных шумовых помех, выдачу радиолокационной информации для наведения истребительной авиации.

К особенностям РЛС необходимо отнести высокую адаптацию к помеховой обстановке и техническому состоянию аппаратуры локатора, что существенно повышает его боевую эффективность. Важнейшим свойством работы всех средств адаптации является то, что в условиях отсутствия помех она не ухудшает основные ТТХ. Компьютеризация обеспечила новый уровень технического обслуживания РЛС, документирования и высокое качество отчётной информации. Основные эксплуатационные характеристики РЛС — время наработки на отказ, уровень автоматизации при развёртывании и боевой работе также соответствуют самым высоким требованиям и в совокупности не реализованы ни в одной из отечественных станций боевого режима.

В РЛС возможно управление диаграммой направленности антенны на передачу и гибкое формирование многолучевой пространственной структуры в угломестной плоскости на приём. Такое гибкое зонообразование повышает боевые возможности радара. Реализовано это качество аппаратно-программными методами.

По сравнению со многими радаром L-диапазона РЛС имеет заметное преимущество по пределам работы по углу места и высоте («потолок» — 200 км, инструментальная дальность — 400 км), что в сочетании с высоким темпом обзора позволяет обнаруживать и сопровождать высокоскоростные объекты с баллистической траекторией полёта. В РЛС на передачу формируется широкая диаграмма направленности (типа cos^2) на всю угломестную зону.

Приём осуществляется многолучевой диаграммой направленности — веером из 19 узких лучей, перекрывающих весь угломестный сектор. Это обеспечивает требуемую зону обнаружения и высокие технические характеристики при наличии помех без использования специальных режимов работы и существенно упрощает эксплуатацию радара. За счёт большего вертикального размера полотна антенна РЛС имеет относительно большую высоту фазового центра. Этим достигаются сравнительно высокие параметры обнаружения маловысотных ВО, включая точность измерения угла места. Нижняя кромка зоны обнаружения позволяет обнаруживать цели с ЭПР $1,5 \text{ м}^2$, летящие на высоте 100 м, с дальности 40 км.

В РЛС предусмотрены режимы работы с различным зонообразованием в угломестной плоскости ($0-45^\circ$ и $15-45^\circ$) и с различным темпом сканирования по азимуту (10 с и 5 с). Цифровая фазированная антенная решётка с низким уровнем боковых лепестков, пространственно-временная обработка сигналов, алгоритмы которой адаптивны к внешней помеховой обстановке и техническому состоянию РЛС, а также ав-

томатическая стабилизация параметров аппаратуры, не требующей настроек и регулировок в процессе эксплуатации, гарантируют надёжное обнаружение, сопровождение и измерение координат самых современных целей (рис. 13, 14), летящих со скоростями от 60 до 8000 км/час на высотах до 200 км, в том числе выполненных по технологии «Стелс».

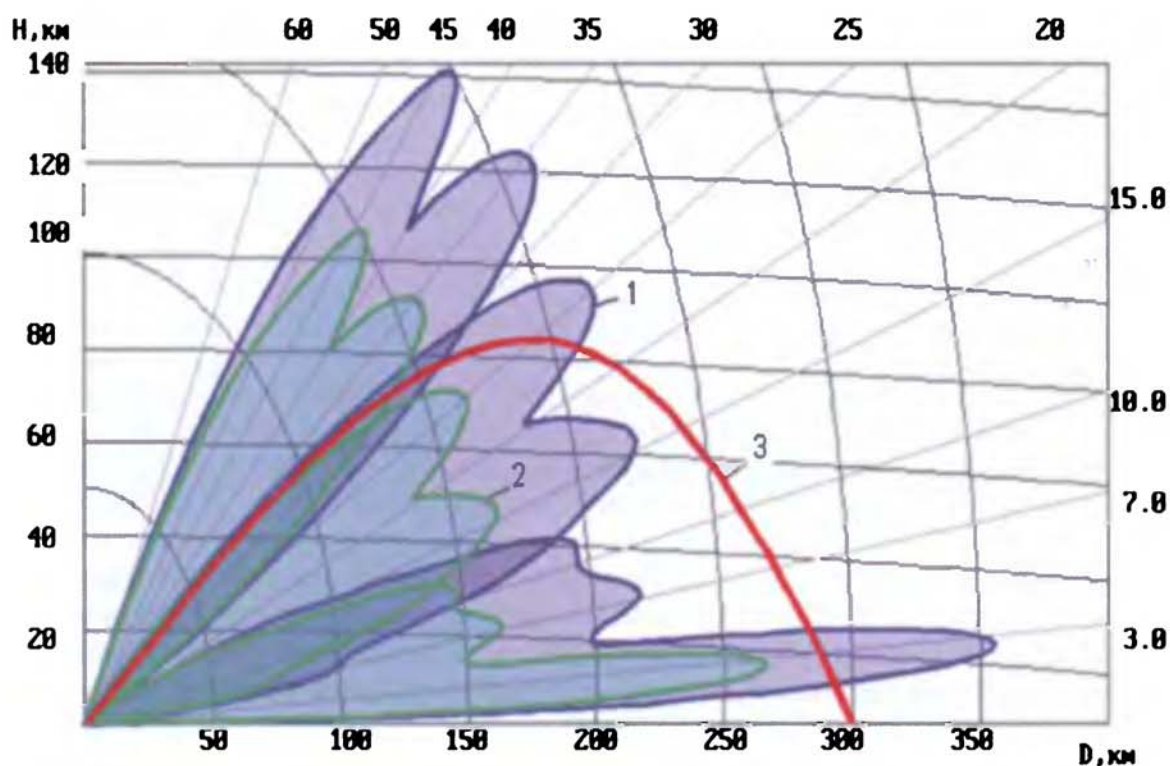


Рис. 13
Зона обнаружения РЛС «Противник-ГЕ» самолета с ЭПР 2 м²

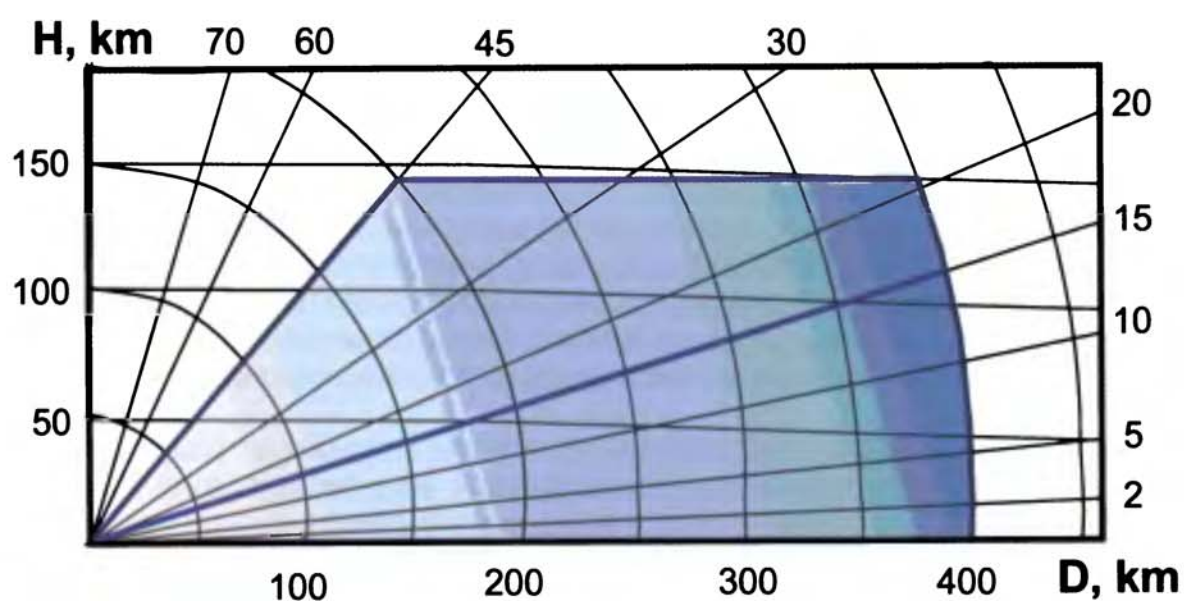


Рис. 14
Зона обнаружения РЛС «Противник-ГЕ» самолета F-117A (ЭОП 0,2 м²)

Тактико-технические характеристики РЛС «Противник-ГЕ»

Зона обнаружения цели с ЭПР 1,5 м ² :	
по дальности, км	340
по азимуту, град.	360
по углу места, град.	45
по высоте, км	110
Ошибки измерения координат (в беспомеховой обстановке):	
по дальности, м, не более	100
по азимуту, угловых мин	10–12
по углу места, угловых мин	8–10
по высоте, м, не более	450
Коэффициент подавления местных предметов, дБ	55
Производительность, трасс	150
Темп обновления информации, с	10 и 5
Число классов распознаваемых целей	8
Время развёртывания/свёртывания, мин, не более	40

Совершенствование ЭКБ, достижения в области средств вычислительной техники позволили впоследствии существенно сократить объём аппаратуры РЛС при её модификации. РЛС повышенной мобильности размещается на единой с антенной решёткой транспортной единице и отличается более низкими эксплуатационными энергозатратами, лучшими показателями надёжности, сокращенным до 15 минут временем развёртывания. Антенная система (АС) в виде плоской ФАР прямоугольной формы размером 5,5 × 7,5 м состоит из антенн каналов локации, запросчика и компенсации, объединенных единым пространственным каркасом, размещенным на опорно-поворотном устройстве с электро-механическим вращением по азимуту. Развёртывается АС из транспортного положения в рабочее с помощью гидравлических механизмов менее чем за 4,5 минуты.

Комплекс первичной обработки включает в себя аппаратуру цифровой автоподстройки всех приёмных каналов, пространственно-временной обработки сигналов, средства адаптации к помеховой обстановке и техническому состоянию аппаратуры. Первичная обработка сигналов реализует алгоритмы обнаружения эхо-сигналов, защиты от активных и пассивных помех, измерения координат целей и пеленгации источников активных шумовых помех. Пространственная фильтрация осуществляется с использованием алгоритма дискретного преобразования Фурье.

Аппаратура пространственной обработки формирует многолучевую пространственную структуру, используемую для перекрытия угломестной зоны (0–45°) с требуемой точностью измерения угла места, а один из лучей — для канала картографирования пассивных помех. Аппаратура СДЦ на основе режекторных фильтров обеспечивает защиту приёмного тракта РЛС от мешающих отражений типа «местных предметов», дипольных помех и «ангелов». Устройства обработки выполнены на ЭКБ с высокой степенью интеграции, включая бескорпусные ИМС.

Передающее устройство (ПДУ) представляет собой мощный импульсный генератор СВЧ-сигнала с фазовой автоподстройкой. В выходном каскаде усилителя ПДУ используется специально разработанный широкополосный усилительный клистрон с большим коэффициентом усиления (50 дБ) и высоким КПД (45%).

Вычислительная система аппаратного комплекса включает в себя:

- центральный процессор, решающий задачи трассовой обработки;
- объединенные в локальную сеть компьютеры рабочих мест операторов, обеспечивающие отображение результатов обработки РЛИ и управление режимами работы РЛС;
- компьютер рабочего места технического обслуживания, предназначенный для проведения контроля и диагностики подсистем станции и их отдельных модулей.

Имеется возможность подключения к локальной сети аппаратного комплекса выносного индикаторного устройства, включающего в себя до четырёх РМО.

Технические средства и программное обеспечение РЛС **«Противник-ГЕ»** обеспечивают обработку радиолокационной информации, информации о техническом состоянии аппаратуры, автоматическую регистрацию и документирование этой информации в реальном времени, а также осуществляют поддержку персонала при штатной работе и тренировке, техническом обслуживании станции и проведении ремонтно-диагностических работ.

Интерфейс «человек – машина», реализованный в РЛС **«Противник-ГЕ»**, позволяет быстро и безошибочно назначать режимы обзора пространства и защиты от помех, бланкировать от автозахвата участки с высоким уровнем нескомпенсированных помех, производить автоматический и полуавтоматический съём координат выбранных целей, осуществлять действия по ручному захвату целей на сопровождение и вводу необходимых корректур в процедуру трассовой обработки в конфликтных ситуациях или при высокоскоростном маневре ВО, поддерживать диалоговый обмен информацией с комплексами средств автоматизации и другими потребителями, при необходимости поддерживать работу автоматизированной системы определения государственной принадлежности. Алгоритмы обработки сигналов и принципы функционирования аппаратуры позволили минимизировать количество органов управления, оставляя обслуживающему персоналу свободу в выборе оптимальных режимов работы системы защиты от помех, основанной на визуальной информации с экрана индикатора. По основным параметрам, в том числе дальности и высоте обнаружения, точности измерения координат и параметров движения целей, помехозащищённости РЛС **«Противник-ГЕ»** находится на уровне лучших зарубежных аналогов.

Одним из важнейших направлений работ являются научные исследования и разработка РЛС воздушного базирования для разведки воздушных, наземных и надводных целей. С разработкой и серийным выпуском первой в мире вертолётной РЛС обнаружения воздушных и надводных объектов, размещаемой на вертолёте, удалось решить ряд проблем, связанных с особенностями радиолокационного обнаружения и сопровождения объектов в условиях интенсивных мешающих отра-

жений. Радиотехнический комплекс (РТК) **Э-801Э (рис. 15)** разработан Нижегородским НИИ радиотехники для вертолёта радиолокационного дозора **Ка-31**.

РТК предназначен для обнаружения надводных и воздушных целей, летящих на малых и сверхмалых высотах. В состав РТК входит двухкоординатная РЛС и сопряжённая с ней система ОГП, предназначенная для определения признака государственной принадлежности объектов, обнаруживаемых РЛС.



Рис. 15
Вертолет Ка-31 с РЛС Э-801Э

РЛС представляет собой импульсно-доплеровский радиолокатор дециметрового диапазона длин волн. Обзор пространства в горизонтальной плоскости осуществляется вкруговую за счёт механического вращения антенны РЛС с частотой 0,1 Гц (6 об/мин.). Обзор пространства в угломестной плоскости осуществляется сформированным лучом диаграммы направленности антенны в диапазоне углов места $\pm 10^\circ$ относительно нижней плоскости фюзеляжа вертолёта.

РТК способен обнаруживать воздушные цели на фоне интенсивных отражений от подстилающей поверхности на дальности 120–200 км для целей с эффективно отражающей поверхностью 1,8–10 м² соответственно. Надводные цели обнаруживаются на фоне взволнованного моря (4–5 баллов) в пределах радиогоризонта.

РЛС обеспечивает пеленгацию активных шумовых помех, а также защиту от прицельных шумовых помех, реализованную с помощью адаптивной перестройки несущей частоты зондирующего сигнала.

Обработка радиолокационной информации на борту вертолёта осуществляется автоматически при минимальном участии штурмана вертолёта. Обнаруженные РТК объекты берутся на автосопровождение, определяются их координаты и траекторные параметры движения цели, присваивается признак государственной принадлежности обнаруженных объектов, и далее вся информация о цели в виде формализованного сообщения передается по телекодовому каналу радиосвязи на корабельный или наземный пункт управления в интересах решения задачи управления оружием.

Количество сообщений о целях, которое может быть передано по радиоканалу, не менее 40 за время одного обзора (10 с).

В РТК реализованы следующие режимы работы:

- обнаружения воздушных целей;
- обнаружения надводных целей;
- одновременного обнаружения воздушных и надводных целей.

Первичная и вторичная обработка РЛИ осуществляется в ЭВМ серии «Багет». Информационный обмен РТК с бортовым радиолокационным оборудованием осуществляется по стандартным мультиплексным каналам.

Радиолокационная и справочная цифробуквенная информация отображается на экране специализированной системы индикации. Система индикации включает в себя цветной индикатор, реализованный на ЖК-панели диагональю 12,1 дюйма, и специализированную ЭВМ с функцией регистрации экранной информации. Отображение РЛИ может осуществляться на фоне битовой карты «море – суша» или топографической карты заданного района местности. Отображение РЛИ может осуществляться в нескольких масштабах от 50 до 250 км. Для более детального анализа РЛИ в поле индикатора имеются зоны, в которых реализован режим микроплана местности с масштабом отображения РЛИ 20–100 км.

В РТК имеется встроенная система автоматического контроля и имитации, обеспечивающая контроль исправности аппаратуры в полёте и проведение оперативных форм технического обслуживания на земле без привлечения дополнительного оборудования.

Антенна РЛС выполнена в виде пассивной фазированной решётки, аналогично выполнена антенна системы государственного опознавания. Обе антенны конструктивно совмещены в одном контейнере размером 6,0 × 0,9 м. Передающее устройство РТК выполнено на ЭВП типа «пакетированный» клистрон со средней излучаемой мощностью 2,5–3,2 кВт. Одновременно с разработкой РТК был разработан стендовый комплект, предназначенный для восстановления аппаратуры РТК в эксплуатирующих организациях, в том числе при базировании вертолётов на корабле. Стендовый комплект **СК-801** представляет собой набор оборудования и специального программного обеспечения, позволяющего определить неисправность и её локализацию до конструктивно сменного элемента, осуществить его замену и провести полную проверку восстановленного блока, модуля, ячейки, узла в составе **СК-801**.

Одновременная разработка РТК **Э-801Э** и **СК-801** позволила решить вопросы эксплуатационной надёжности изделия и существенно снизить эксплуатационные расходы.

Продолжением этих работ в институте являются создание электронно-сканирующих антенных решёток, исследования в области апертурного синтеза, сигнального распознавания и сверхразрешения. Необходимо подчеркнуть, что успешное решение перечисленных задач в значительной степени определяется уровнем развития ЭКБ, используемой для реализации разрабатываемых алгоритмов обзора пространства и обработки сигналов.

Нижегородский НИИ радиотехники активно развивает новое перспективное направление — бистатическую просветную радиолокацию. Главное её преимущество связано с резким увеличением ЭПР объекта,

попадающего в область прямой видимости между передатчиком и приёмником, и независимостью ЭПР цели от наличия на ней радиопоглощающего покрытия.



Рис. 16
РЛС «Барьер-Е»

Многозвенный радиолокационный комплекс (МРЛК) «Барьер-Е» (рис. 16) предназначен для создания протяжённых (до 400–500 км) полос радиолокационного обнаружения и предупреждения о полётах воздушных объектов. Комплекс реализует принцип радиолокации «на просвет», при котором видимость объектов, попавших в зону между передатчиком и приёмником, возрастает на три-четыре порядка по сравнению с моностатической РЛС и не зависит от наличия «Стелс»-покрытия. Это позволяет надёжно обнаруживать малоразмерные низколетящие воздушные объекты и объекты с противорадиолокационными покрытиями («Стелс»-объекты) при исключительно низкой мощности зондирующего сигнала (1–10 Вт). МРЛК обеспечивает:

- автоматическое обнаружение, определение координат и параметров траекторий движения воздушных объектов, в том числе малоразмерных низколетящих воздушных целей, СКР и целей, изготовленных по технологии «Стелс» (зона обнаружения целей F-117A и СКР типа ALKM представлена на **рис.17, 18, 19**);
- распознавание классов сопровождаемых воздушных объектов;
- выдачу радиолокационной информации предупреждения на командные пункты.

В составе МРЛК может быть от двух до одиннадцати приёмопередающих постов (ППП), пост рабочего места оператора, выносное автоматизи-

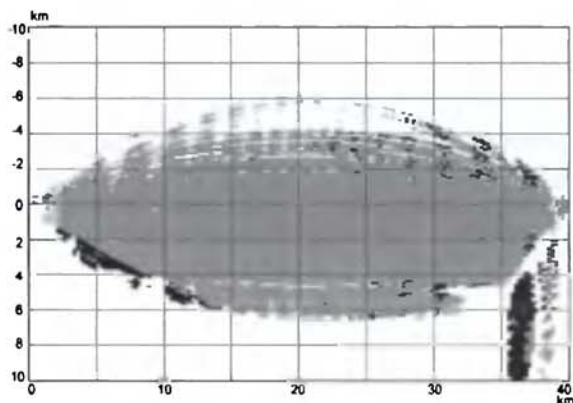


Рис. 17
Горизонтальный срез ЗО цели типа F-117A на высоте полета 2000 м

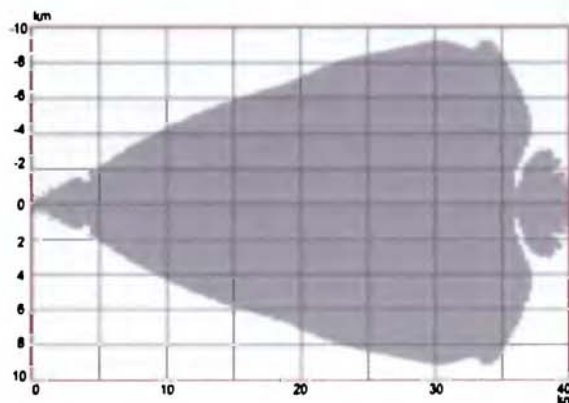


Рис. 18
Горизонтальный срез ЗО СКР ALKM на высоте полета 50 м

зированное РМО и пост проведения техобслуживания. Приемная антенна в виде плоской ФАР формирует три луча диаграммы направленности шириной 13° по азимуту и 30° по углу места. Передающая антенна — синфазная решётка, состоящая из двух излучателей и рефлектора, формирует луч ДН шириной 55° по азимуту и 45° по углу места. Передатчик формирует непрерывный монохроматический зондирующий сигнал в диапазоне несущих частот с выходной мощностью 10 Вт. Передача радиолокационной информации и информации о техническом

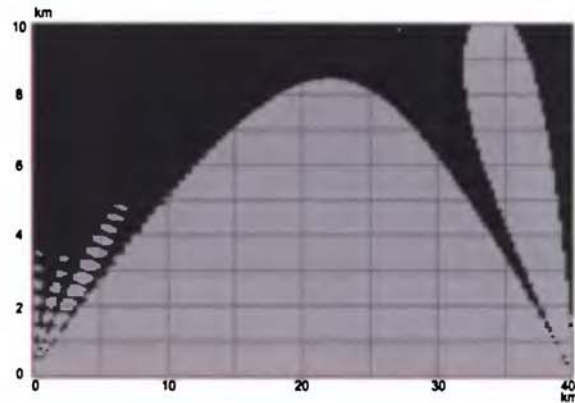


Рис. 19
Вертикальный срез 30 СКР АЛКМ
вдоль линии связи

состоянии комплекса осуществляется вдоль барьера на пост РМО с помощью серийных радиорелейных станций. Для связи между постами РМО, приёмопередающими постами и постом техобслуживания используется серийная связная радиостанция. В кузове-контейнере приёмопередающего поста размещена аппаратура приёма радиолокационной информации, аппаратура обработки РЛИ, реализованная программно в ЭВМ БСВ-3, аппаратура управления, имитации и контроля, аппаратура радиостанций и аппаратура вторичного электропитания. Аппаратура обработки информации осуществляет выделение сигнала воздушных объектов на фоне пассивных помех, завязку трассы и сопровождение ВО, измерение координат и распознавание классов целей. В кузове-контейнере поста рабочего места оператора размещены РМО, реализованное на ЭВМ БСВ-3, аппаратура топопривязки МРК-32К, аппаратура передачи данных типа «Аккорд-2М1». Выносное автоматизированное РМО (ВАРМ) идентично рабочему месту оператора. ВАРМ может размещаться на посту рабочего места оператора и служить в этом случае вторым РМО, а также в любом стационарном помещении, отнесённом от поста РМО или любого ППП на расстояние до 500 м. Рабочее место оператора осуществляет приём, отображение и регистрацию РЛИ, дистанционное управление звеньями комплекса, передачу информации на АСУ. Пост проведения технического обслуживания предназначен для оперативной доставки обслуживающего персонала (ремонтной бригады) и комплекта аппаратуры ЗИП на позицию любого приёмопередающего поста, размещается в кузове-контейнере и базируется на автомобиле «Урал». По результатам испытаний и проверок с использованием различных лётных средств установлены следующие **значения основных характеристик МРЛК:**

Зона обнаружения	многозвенная
Длина единичного звена, км	40–50
Поперечный размер барьерной зоны, км	3,3–12,8
Высота барьерной зоны, м	30–7000

Точность измерения координат:	
вдоль барьера, м	1010
поперек барьера, м	100
Число классов распознаваемых целей	5
Темп выдачи данных, с	1
Вид выходной информации	трассы
Излучаемая мощность, Вт	1-10

Вероятность обнаружения МРЛК внутри барьерной зоны — не менее 0,9 при средней вероятности ложных тревог не более 1 за 1 год (по шумам приёмника). Диапазон скоростей обнаруживаемых и сопровождаемых ВО — от 60 до 1500 км/ч. Конструкция антенно-мачтового устройства обеспечивает работу МРЛК при скорости ветра на уровне фазового центра до 40 м/с, а также при гололёде до 10 мм и скорости ветра до 25 м/с. Электропитание МРЛК осуществляется от промышленной сети либо от автономного источника питания. Потребляемая одним постом мощность не превосходит 4 кВт. Среднее время наработки на отказ одного звена (два ППП и РМО) составляет 1500 ч.

Новые перспективы в использовании просветной радиолокации открываются при размещении элементов РЛС на космической платформе. Обусловленное просветным эффектом резкое (на 3–4 порядка) увеличение ЭПР целей и её независимость от «Стелс»-покрытия совместно с космическим базированием позволяют практически реализовать глобальную систему высокоэффективного наблюдения за воздушными и космическими объектами. Возможность использования высокоэллиптических и геостационарных орбит позволяет создавать барьерные зоны обнаружения требуемой формы и протяжённости. Благодаря мобильности передающего комплекса наземного или надводного базирования и возможности изменения орбит спутников можно оперативно создавать зоны надёжного обнаружения космических и воздушно-космических объектов в требуемом регионе земного шара.

Достигнутый научно-технический и конструкторско-технологический уровень в таких базовых областях радиолокации, как цифровые ФАР, СВЧ технологии, микросхемотехника и компьютерные технологии об-

работки сигналов, позволил приступить к созданию малогабаритных сверхмобильных, в том числе работающих в движении и носимых РЛС.

Радиолокационная станция **1Л122Е** (рис. 20) представляет собой трёхкоординатную когерентно-импульсную РЛС кругового обзора, работающую в дециметровом диапазоне длин волн, с твердотельным передатчиком и цифровой ФАР. При размерах апертуры антенной решётки



Рис. 20
РЛС 1Л122Е

1200 × 800 мм РЛС имеет среднюю мощность излучения 18 Вт. Радиолокационная станция спроектирована по классической схеме, как станция кругового обзора.

Сочетание оптимальных конструктивно-технологических решений с использованием современной вычислительной техники и оптимальными (квазиоптимальными) методами обработки позволили обеспечить заданную зону обзора при жёстких ограничениях по массе и габаритным размерам аппаратуры, исключающих применение мощных передающих устройств и накладывающих ограничения на размеры полотна антенной решётки.

В РЛС реализован принцип построения системы цифровой обработки радиолокационной информации с минимальными потерями, обеспечивающей обнаружение, оценку параметров, разрешение и распознавание радиолокационных целей в заданных пределах работы на фоне активных и пассивных помех. Использование параллельного способа обзора угломестной зоны при азимутальном вращении антенной решётки **РЛС 1Л122Е** позволяет при достаточно простой аппаратно-программной реализации реализовать когерентное накопление сигнала в каждом угломестном канале.

При этом достигаются минимальные потери в отношении сигнал/шум при обнаружении цели, и обеспечивается эффективное подавление сигналов, отражённых от местных предметов и пассивных помех, а также измерение высоты воздушных объектов в заданном угломестном секторе. Подобная схема построения реализована и успешно эксплуатируется, например, в РЛС «**Противник-ГЕ**».

РЛС при минимальном участии обслуживающего персонала обеспечивает:

- автоматическое обнаружение, определение координат и сопровождение самолётов, крылатых ракет, беспилотных летательных аппаратов и автоматическую выдачу информации по проводным каналам и радиосвязи;
- определение государственной принадлежности обнаруженных объектов;
- автоматическую выдачу трассовой информации на комплексы средств систем автоматизации (КСА);
- автоматическую топопривязку и ориентирование относительно севера с использованием спутниковых систем ГЛОНАСС и GPS.

Конструкция РЛС обеспечивает длительное безопасное пребывание персонала в непосредственной близости от неё (уровень мощности зондирующего сигнала передатчика безопасен для персонала).

Антенно-фидерная система включает в себя каналы локации, автокомпенсации шумовых активных помех и опознавания.

Приёмная система РЛС с двукратным преобразованием частоты сигнала, аналого-цифровым преобразованием обеспечивает преобразование принятых и обработанных сигналов в последовательный помехоустойчивый код, предназначенный для передачи в аппаратуру цифровой обработки.

Передающая система РЛС предназначена для формирования зондирующего радиоимпульсного сигнала, его усиления и формирования фазового распределения на передачу, гетеродинных сигналов для приёмной системы и опорных сигналов для системы хронологии.

Система первичной обработки является программно-аппаратным комплексом и включает в свой состав алгоритмы временной и пространственной обработки, автокомпенсацию активных шумовых помех и измерение координат.

Программное обеспечение первичной обработки функционирует на процессорных модулях в составе специализированной цифровой вычислительной машины (СЦВМ) под управлением операционной системы реального времени.

Система вторичной обработки РЛИ осуществляет автоматическое обнаружение и сопровождение траекторий движения воздушных объектов с расчётом координат и параметров движения ВО в интересах потребителей радиолокационной информации. Система вторичной обработки функционирует в составе СЦВМ ЕС 1866.

Система топопривязки, ориентирования и горизонтирования обеспечивает:

- определение координат точки стояния МРЛС и определения точного местного времени и коррекции точного времени технического поста и СЦВМ ЕС 1866;
- передачу информации об угле поворота вала антенны в системы первичной и вторичной обработки;
- ориентирование МРЛС по азимуту;
- определение углов крена и дифферента антенной решётки при развёртывании изделия на позиции;
- приём данных об углах крена, дифферента, точного местного времени и коррекции часов СЦВМ технического поста и данных системы ориентирования подвижного носителя.

Аппаратура радиолокационного опознавания обеспечивает опознавание обнаруженных целей по принципу «свой – чужой».

Система регистрации и документирования обеспечивает:

- регистрацию информации обмена по телекодovому каналу, в том числе при работе изделия с максимальной производительностью при сопровождении ВО в сложных помеховых условиях;
- копирование зарегистрированной информации;
- воспроизведение зарегистрированной информации на экране системы отображения информации в виде таблиц и схем.

Система управления и отображения информации предназначена для управления режимами работы МРЛС и отображения РЛИ в режиме кругового обзора, информации об исправности аппаратуры МРЛС и информации по командам, поступившим с КСА.

Система сопряжения обеспечивает обмен данными по каналам обмена между РЛС и потребителями РЛИ (КСА).

Программный комплекс «Система тренажа» предназначен для моделирования тренажных ситуаций, с его помощью решаются также задачи оценки действий тренируемого.

РЛС **1Л122-1Е**, размещаемая на гусеничном шасси, обеспечивает работу в движении. Кроме того, данная комплектация позволяет осуществлять вынос РЛС на 300 м от шасси. Управление РЛС в данном случае осуществляется с рабочего места оператора, размещенного в носителе. Это существенно повышает живучесть носителя (например, командного пункта) от поражения противорадиолокационными ракетами. Данная комплектация не имеет аналогов в Вооруженных силах России.

РЛС **1Л122-2Е** спроектирована на принципах блочно-модульного построения и открытой архитектуры и может быть размещена на любом подвижном шасси соответствующей грузоподъёмности и вместимости.

Таблица 5. Основные характеристики РЛС 1Л122-1Е и 1Л122-2Е

Характеристики	1Л122-1Е	1Л122-2Е
Пределы работы:		
по дальности, км	1-40	1-80
по азимуту, град.	360	360
по углу места, град.	-5+45	0-60
по высоте, км	10	20
по скорости воздушных целей, м/с	до 700	до 700
Среднеквадратические ошибки измерения координат с одиночной ЭПР 1 м² в отсутствии помех:		
по дальности, м	100	100
по азимуту, град.	0,5	1
по углу места, град.	1,5	1
Темп обновления данных, с	2 или 4	4 или 10
Энергопотребление не более, Вт	600	5000
Напряжение источника электропитания, В	22-30	22-30
Масса не более, кг	150	900
Размеры полотна антенной решётки, мм	1200 × 800	1900 × 1800

Созданный Нижегородским НИИ радиотехники мобильный радиолокационный обнаружитель (МРЛО) атакующих элементов высокоточного оружия (АЭ ВТО) **1Л121Е** (рис. 21) обеспечивает комплекс средств защиты (КСЗ) радиолокационной информацией в интересах прикрытия наземных объектов СВ от различных типов АЭ ВТО. Кроме того, МРЛО в режиме обнаружения аэродинамических целей (АЦ) способен обеспечивать радиолокационной информацией по АЦ и носителям ВТО КП и ПУ тактического звена войсковой ПВО.



Рис. 21
МРЛО 1Л121Е

МРЛО **1Л121Е** обеспечивает:

- измерение координат обнаруженных объектов (азимута, угла места, наклонной дальности) и скорости их полёта;
- решение задачи классификации обнаруженных воздушных объектов по степени угрозы защищаемому объекту, т. е. распознавание цели по факту атаки защищаемого объекта;
- трассовую обработку сигнала цели;
- определение государственной принадлежности АЦ;
- расчёт координат точки падения АЭ ВТО;
- выдачу информации на пункт управления комплексом средств защиты.

Специфические особенности объектов защиты, целей, которые должен обнаруживать МРЛО, и тактики его боевого применения определили следующие основные ТТХ обнаружителя:

- рабочий диапазон длин волн обеспечивает возможность обнаружения малозаметных целей (УР, УАБ и др.), выполненных с использованием технологии «Стелс», и является оптимальным для достижения мобильности и устойчивости к огневому поражению из-за отсутствия в данном диапазоне ПРР;
- величина угломестной зоны обзора ($0...5-90^\circ$) и диапазон скоростей обнаруживаемых МРЛО целей (50–800 м/с) обеспечивают обнаружение всех типов вышеперечисленных АЭ ВТО;
- дальность обнаружения (10–15 км в условиях воздействия активных шумовых помех) обеспечивает требуемое рабочее время систем противодействия КСЗ;
- угловые точности ($1-1,5^\circ$) обеспечивают прицельную постановку локальных и протяжённых аэрозольных завес АЭ ВТО с оптическими, радиолокационными, радиометрическими и комбинированными системами наведения и целеуказания по ним стрельбовым средствам (ЗРК типа ТОР и ЗРПК типа «Тунгуска», «Панцирь»).

МРЛО имеет относительно низкую стоимость, что обеспечивает экономическую целесообразность защиты объектов.

Одной из важнейших особенностей МРЛО является то, что, кроме обнаружения АЭ ВТО, он обнаруживает аэродинамические цели. Это позволяет заблаговременно обнаруживать и сопровождать носители ВТО. Такое существенное расширение функций радара позволяет применять его вне и зоны, и времени активных боевых действий.

В выбранном частотном диапазоне на сравнительно небольшой квадратной апертуре выполнена активная твердотельная ФАР, что и позволило создать трёхкоординатный МРЛО и реализовать требуемый энергетический потенциал с максимальной эффективностью при высокой экономичности и компактности.

Особенностью МРЛО является его исключительно высокая мобильность для трёхкоординатной РЛС в непоражаемом частотном диапазоне. Достигнут предельно возможный уровень мобильности — радар работает на ходу.

В МРЛО реализована возможность обнаружения и сопровождения АЭ ВТО во всей полусфере. При этом угломестный сектор обнаружения и сопровождения аэродинамических целей составляет 60° .

Ряд конструкторских решений и применение современной ЭКБ позволили в ограниченном объёме небольшого автомобиля ГАЗ-39371 реализовать РЛС обнаружения АЭ ВТО и аэродинамических целей. Конструктивная особенность изделия — максимальное приближение ВЧ-аппаратуры к антенной решётке без снижения надёжности этой аппаратуры.

Конструкция обеспечивает нормальную работоспособность изделия в движении. МРЛО имеет возможность преодолевать водные преграды со скоростью до 5 км/ч и обладает высокой маневренностью.

Обеспечены комфортные условия для личного состава с кондиционированием воздуха на рабочих местах. Предусмотрены два независимых рабочих места на базе компактных цветных индикаторов, объединяющих в моноблоке жидкокристаллическую панель и процессор.

Современная аппаратура передачи данных и радиостанция обеспечивают сопряжение с широким спектром потребителей при работе на стоянке и на ходу. РЛИ выдаётся в кодограммах АСУВ 9С714 (алгоритм кодирования в АПД 1В815 – «Иртыш» (1Т235-1Л). Канал обмена РЛИ — телекодированный проводной (кабельный) или радиоканал и организуется с помощью АПД «Багет-МТ» (1В815), радиостанции Р168-5УТ.

На базе специальной ЭВМ реализовано рабочее место технического обслуживания для работы с эксплуатационной документацией и тренажа личного состава.

Электроснабжение изделия осуществляется от двух автономных источников электроснабжения. Каждый из них в отдельности обеспечивает работу всего изделия и 100-процентное резервирование источников.

Актуальность защиты от ВТО различных объектов и группировок обусловили разработку вариантов реализации МРЛО не только в автомобиле «Водник», но и в стационарном исполнении (контейнерный вариант), вариант исполнения на шасси автомобиля КамАЗ и на гусеничном бронетранспортёре МТ-Лбу. По совокупности характеристик МРЛО не имеет аналогов. Основные тактико-технические характеристики МРЛО **1Л121Е** приведены в табл. 6.

Таблица 6. Основные тактико-технические характеристики МРЛО 1Л121Е

Тактико-технические характеристики	Режим обзора 90°	Режим обзора 60°
Диапазон	Ultra high frequency (UHF)	
Зона обзора:		
по дальности, км	2–20	5–90
по азимуту, град.	360	
по углу места, град.	до 90	до 60
по радиальной скорости, м/с	50–800	50–700
Дальность обнаружения воздушных целей с эффективной поверхностью рассеивания (ЭПР) = 1 м ² , км	не менее 18	не менее 30

Дальность обнаружения воздушных целей типа «истребитель» с ЭПР = 2 м ² , км	не менее 21	не менее 44
Дальность обнаружения цели с ЭПР = 1 м ² , при воздействии активных шумовых помех (АШП) со спектральными плотностями 200 Вт/МГц с двух направлений по ближним боковым лепесткам и 1000 Вт/МГц с одного направления по фону, км, не менее	10	18
Среднеквадратические ошибки измерения координат цели без помех*: по дальности, м по азимуту, град., в зоне углов места до 45° в зоне углов места 45–60° по углу места, град., в зоне углов места 10–60°	100 1 1,5 1	100 1 1,5 1
Разрешающая способность двух целей с одинаковыми ЭПР:		
по дальности, м по азимуту, град. по углу места, град.	300 15 17	300 15 17
Коэффициент подавления местных предметов, не менее, дБ	45	45
Максимальная производительность радиолокационной информации в автоматическом режиме, трассы, не менее	32	64
Распознавание 4 классов воздушных объектов	вертолёт, самолёт, ракета, беспилотный летательный аппарат (БПЛА)	
Время развёртывания изделия на стоянке, при находящихся в готовности к быстрому приёму нагрузки электроагрегатах, мин	5	5
РАС обеспечивает передачу информации на комплекс средств автоматизации (КСА) по радиоканалу на дальность, км	10	10
Время развёртывания изделия на ходу (перевод антенного устройства из транспортного положения в рабочее положение под углом (50±1)° к вертикали), мин	2	2
Экипаж, чел.	3	

Примечание: * в режиме обзора 90° для цели с ЭПР = 1 м^2 на дальностях до 10 км и в режиме обзора 60° для цели с ЭПР = 2 м^2 на дальностях до 40 км

Научно-технические, технологические и экономические проблемы совершенствования радиолокационных систем в современных условиях

Экономической основой для развития отечественной радиолокации являются финансовые ассигнования, выделяемые Министерством обороны и другими министерствами и ведомствами России, а также инозаказчиками. Основными программами, направленными на развитие средств радиолокации, базовых и критических технологий, являются по линии:

- Министерства обороны — государственная программа вооружения на 2007–2015 гг., в том числе программа развития базовых военных технологий и программа совершенствования федеральной системы разведки и контроля воздушного пространства Российской Федерации (2007–2010 гг.);
- Министерства промышленности и торговли — программы «Национальная технологическая база на 2007–2011 гг.», «Развитие оборонно-промышленного комплекса Российской Федерации на 2007–2010 гг. и на период до 2015 г.», «Развитие гражданской авиационной техники России на 2002–2010 гг. и на период до 2015 г.»;
- Министерства образования и науки — программа «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технического комплекса России на 2007–2015 гг.»;
- Роскосмоса — программа «Глобальная навигационная система»;
- Федеральной службы безопасности — программы «Антитеррор» и «Государственная граница Российской Федерации на 2003–2010 гг.».

Другими средствами финансирования могут стать льготные долгосрочные кредиты, получаемые под конкретные бизнес-проекты. Финансовые поступления от разработок и поставок радиолокационных средств позволят создать фонд потребления, финансирования НИОКР и научно-технического развития, технического перевооружения и капитального строительства, решить многие социальные программы.

Постоянной целью деятельности предприятий должно быть владение базовыми отраслевыми технологиями. К таковым следует отнести следующие методы и устройства:

- направленного излучения и приёма СВЧ энергии (пассивные, полуактивные, активные);
- генерации, усиления СВЧ сигналов;
- оптимального приёма и обнаружения сигналов;
- аналого-цифрового преобразования сигналов;
- цифрового диаграммообразования на приём сигналов;
- цифровой обработки сигналов и радиолокационной информации;
- отображения радиолокационной информации;
- управления аппаратурой контроля состояния РЛС;
- вращения, свёртывания и развёртывания антенн.

Вопросы конструирования на предприятии должны решаться профессионалами, занимающимися как составными частями, так и изделием в целом. На предприятиях должна применяться технология испытаний изделий (регистрация и обработка результатов испытаний, моделирование, имитация помех и сигналов). Особого внимания требуют СВЧ комплекс и программное обеспечение.

Повышение боевой устойчивости радиолокационных систем будет обеспечено за счёт:

- сохранения числа диапазонов волн в боевом радиолокационном поле РТВ ВВС на средних и больших высотах (10, 13, 23 см);
- использования высокопотенциальных РЛС на важных воздушно-космических направлениях в спецгруппировках ПВО;
- создания сил и средств мобильного резерва;
- наращивания комплектации РЛС до активно-пассивных комплексов, обеспечивающих обнаружение и определение координат постановщиков шумовых помех;
- включения в состав радиотехнических подразделений многопозиционных комплексов радиотехнической разведки, обеспечивающих обнаружение целей по их бортовым излучениям, и комплексов вторичной радиолокации;
- возможности оснащения радиотехнических подразделений средствами защиты РЛС от самонаводящихся снарядов.

Внедрение блочно-модульного принципа построения унифицированных комплексов РЛС различного тактического назначения позволит снизить затраты на их разработку и производство на 15–20%. Радиолокационные системы, оснащённые новыми блочно-модульными средствами радиолокации, обеспечат выдачу разведывательной и боевой информации о воздушной обстановке в любых, самых сложных условиях их функционирования.

С масштабным развитием нанотехнологий, внедряемых производство радиолокационных средств, возможно возникновение новых задач, решаемых с помощью радиолокации.

Заключение

На ближайшую перспективу главное направление развития радиолокационных средств, видимо, будет связано с решением задачи их интеграции в единую информационную систему на основе сетевых технологий обмена и организации доступа к радиолокационной информации. Стимулирующими факторами дальнейшего развития радиолокации как составной части информационного обеспечения ВКО будет возрастание роли сил и средств воздушно-космического нападения и высокоточного оружия, их совершенствование с использованием высоких технологий, а также повышение эффективности средств радиоэлектронного подавления. Основными направлениями такого развития будут:

- реализация модульного принципа построения комплексов, систем и специализированного программного обеспечения;
- максимальная межпроектная унификация и стандартизация аппаратных, аппаратно-программных модулей (комплексов) и интерфейсов, несущих конструкций и конструктивных элементов;

- дальнейшее сокращение объёма аппаратуры РЛС и внедрение информационных технологий для реализации традиционных задач радиолокации;
- разработка и освоение принципов построения многопозиционных радиолокационных комплексов, интеллектуальных алгоритмов управления ими и систем информационной поддержки при их эксплуатации;
- обеспечение информационной поддержки изделий на всех этапах жизненного цикла на основе внедрения CALS-технологий.

Разработка новой техники межвидового применения и существенное увеличение объёмов её выпуска требует модернизации научно-технологической базы разрабатывающих предприятий, имеющих собственные производства, а также серьёзной реконструкции и расширения производственной базы заводов-изготовителей.

Модернизация производства и его развитие осуществляются как за счёт участия в соответствующих федеральных целевых программах, так и с привлечением собственных средств предприятий. Существенную долю по трудоёмкости изготовления современной радиолокационной продукции составляют приёмо-передающие модули, используемые в активных фазированных решётках РЛС.

С освоением в серийном производстве радиолокационных станций и комплексов, разработка которых заканчивается в 2010–2012 гг., ожидается дальнейший рост объёмов внутреннего и внешнего рынков.

Координация научно-технической, технологической политики, вопросов стандартизации, унификации, кооперации, материально-технического снабжения позволит снизить издержки производства на разрабатывающих и серийных предприятиях отрасли по созданию и поставкам радиолокационной техники для ВКО России. За счёт роста объёмов инновационной продукции расширятся возможности удовлетворения потребностей внутреннего и зарубежного рынков и дальнейшего развития предприятий Концерна ПВО «Алмаз-Антей».

Литература

1. Ашурбейли И.Р., Лаговьер А.И. Основные направления развития воздушно-космической обороны Российской Федерации // Успехи современной радиоэлектроники. – 2009. – № 12.
2. Боев С.Ф. Основные тенденции развития современной радиолокации // Труды VII Международной конференции «Радиолокация. Навигация. Связь». – Воронеж, 2001. – Т. 3.
3. ВНИИРТ. Страницы истории. – М.: Оружие и технологии, 2006.
4. Гапотченко О.О. Достоинства метрового диапазона // Воздушно-космическая оборона. – 2004. – № 3 (16).
5. Гончаров Э.А. Прощание с «Леной» // Воздушно-космическая оборона. – 2007. – № 2 (33).
6. Демченко М. Локатор – «Мастодонт» // Воздушно-космическая оборона. – 2004. – № 6 (19).
7. Иммореев И.Я., Черняк В.С. Краткий очерк истории развития радиолокации в Советском Союзе и России // Радиотехника. – 2009. – № 3.

8. Перунов Ю.М., Мацукевич В.В., Васильев А.А. Зарубежные радиолокационные средства / Под ред. Ю.М. Перунова. В 4-х кн. – Кн. 1: Радиолокационные системы. – М.: Радиотехника, 2010.
9. Махлин Р.Л. Основные принципы построения рядов унифицированных обзорных РЛС с ФАР // Доклады XVII научно-технической конференции ВНИИРТ. – М., 2007.
10. Мобильная радиолокационная станция 1Л121Е. Рекламный паспорт, 2008.



БЕЗЕЛЬ Я.В.,

научный руководитель ОАО
«МНИИПА», доктор техниче-
ских наук, профессор

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Важнейшим компонентом системы ВКО страны является автоматизированная территориальная система ПВО. Научные исследования и практические работы по созданию автоматизированных территориальных систем противовоздушной обороны реального времени в нашей стране проводились в Московском НИИ приборной автоматики начиная с 1947 г. История института — это труд нескольких поколений учёных, инженеров и техников. Они создавали системы управления огнём наземной и зенитной артиллерии, авиацией, артиллерийскую приборную технику, средства и системы обработки радиолокационной информации и сложные территориальные автоматизированные системы управления (АСУ) ПВО и ВВС.

Начав с создания приборов управления огнём наземной и зенитной артиллерии (это первое, наиболее раннее поколение разработок института), пройдя последовательно ряд этапов создания гораздо более сложных приборов, комплексов и систем управления, в которых на каждом последующем этапе повышались уровни сложности и автоматизации процессов (т. е. создав комплексы и системы второго, третьего и четвертого поколений в области обработки информации и управления радиолокационными (РТВ), зенитными ракетными (ЗРВ), средствами радиоэлектронной борьбы (РЭБ), авиационными комплексами ВВС и ПВО), коллектив института начал проектировать комплексы ВКО (пятое поколение) и головной участок системы ВКО.

В 1958 г. вышло постановление ЦК КПСС и Совета Министров СССР о назначении института головной организацией по системам и средствам противовоздушной обороны (ПВО), во исполнение которого институтом была выполнена научно-исследовательская работа по созданию АСУ, обеспечивавших обнаружение и уничтожение средств воздушного нападения (СВН) противника в реальном масштабе времени с жёстко регламентированным циклом обработки и управления. По результатам выполненной НИР 4 Главным управлением Министерства обороны СССР институту был задан целый ряд опытно-конструкторских работ на составные элементы АСУ ПВО тактического уровня для Войск ПВО (маловысотный радиолокационный пост, радиолокационный пост средних и больших высот, радиолокационные узлы, комплексы средств автоматизации для бригад, полков, батальонов и рот радиотехнических, зенитных ракетных войск и истре-

бительной авиации), создание нескольких локальных группировок ПВО (в Прибалтике, Ленинграде, Ржеве, Ярославле).

Первые научно-технические исследования и разработки показали, что наиболее существенными факторами функционирования АСУ ПВО являются:

- жёстко регламентированный режим работы в реальном масштабе времени;
- большая территориальная рассредоточенность элементов систем;
- высокая пропускная способность АСУ;
- многоуровневость (иерархичность) построения систем;
- высокий уровень мобильности средств автоматизации и остальных средств систем.

При проектировании таких систем необходимо было на первом этапе определить управляемые объекты и типы целей. Основными управляемыми объектами являлись зенитно-ракетные комплексы, истребители-перехватчики и средства радиоэлектронной борьбы. Одной из важнейших основных подсистем, обеспечивавших надёжное функционирование АСУ в реальном масштабе времени, являлась подсистема комплексов средств автоматизации (КСА), взаимную синхронную работу которой обеспечивали реализованное в них специальное программное обеспечение (СПО) и подсистема телекодовой связи и передачи данных, посредством которой могла осуществляться взаимная увязка соответствующих КСА различных уровней в единую функциональную систему.

В институте проводились научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы по созданию опытных образцов комплексов, фрагментов автоматизированных систем и систем в целом в интересах различных видов ВС: Военно-воздушных сил, Войск ПВО, Военно-морского флота и Сухопутных войск.

С первых дней создания института формировалась научная школа, готовились специалисты в областях:

- методов обработки радиолокационных сигналов в реальном масштабе времени с жёстко регламентированным циклом в условиях неопределенности и реализации рациональных методов в программном обеспечении существовавших ЦВМ (в том числе методов цифровой обработки);
- методов управления в реальном масштабе времени зенитными ракетными комплексами, наведения и управления истребительной и фронтовой авиацией;
- методов системного проектирования и программирования и, в частности, методов проектирования программного обеспечения реального масштаба времени.

За более чем полувековую историю были созданы следующие основные классы приборов, комплексов и систем.

Приборы наземной артиллерии

Работа института в области создания приборов наземной артиллерии начиналась с разработки различных счислителей и поправочников, графических планшетов стрельбы (ГПС) для 76-мм пушки, 152-мм пушки-гаубицы и т. д.

Затем эта тематика существенно расширилась. Появились новые направления разработок артиллерийской приборной техники:

- создание разведывательного теодолита РТ (1949 г.);
- разработка семейства приборов управления артогнём ПУО-3, ПУМО-5, ПУО-7 (1952 г.);
- создание приборов для подвижного управляемого ракетного комплекса оперативно-тактического назначения «Сатурн» для стрельбы по наземным целям (1957–1958 гг.);
- разработка воздушного артиллерийского наблюдательного пункта ВАНП «Аист» на вертолёте МИ-1;
- разработка средств воздушной артиллерийской разведки, фоторазведки и аэрофотограмметрии;
- разработка средств управления противотанковыми управляемыми реактивными снарядами;
- разработка средств баллистического обеспечения стрельбы артиллерии.

Ведущими специалистами в области создания приборов наземной артиллерии были К.К. Плавский, Ю.В. Ремезов, П.А. Мельников, М.И. Апенко, В.М. Федосеев, Л.Б. Сокольский, Б.А. Невский, А.Н. Макаров, В.И. Мельник, Г.Б. Ольдерогге и др.

На **рис. 1–8** представлены приборы управления артиллерийским огнём (ПУАО), артиллерийским и зенитным огнём (ПУАЗО), прибор наведения «Ясень-1».



Рис. 1
Векторно-механический
ПУАЗО. Общий вид



Рис. 2
Войсковой электромеханический ПУАЗО
для батареи 85 мм пушек



Рис. 3
ПУАЗО-5

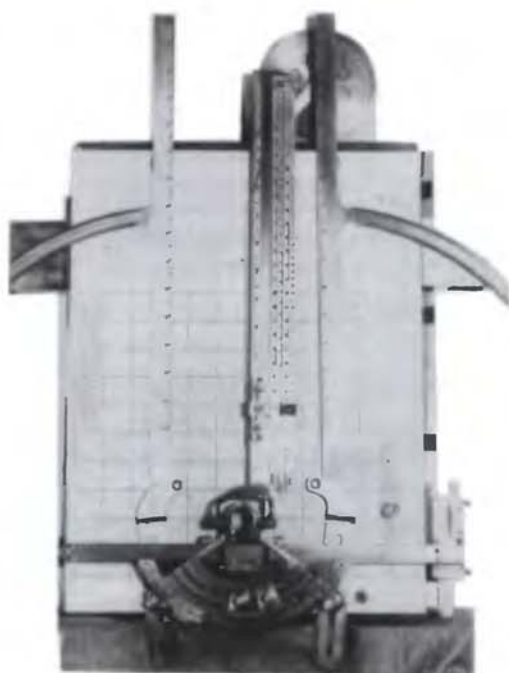


Рис. 4
Прибор управления артиллерийским огнем по движущимся и неподвижным целям



Рис. 5
ПУАЗО-6 без дальномера



Рис. 6
ПУАО наземной артиллерии «ПИКОР»



Рис. 7
Теодолит ТТ-3.
Общий вид



Рис. 8
«Ясень-1». Прибор наведения

Радиолокационные разработки института

Радиолокационные подразделения института в 1950–1970-х гг. вели следующие разработки:

- ламп бегущей волны;
- радиосредств управления «Оса»;
- радиолокационной метеостанции «Метеор» для обеспечения стрельбы наземной и зенитной артиллерии;
- импульсной РЛС дальнего обнаружения «Редут», которая была принята на вооружение войск ПВО под названием РУС-2.

В дальнейшем специалисты по радиолокации сосредоточили свои усилия на АСУ ПВО радиолокационной системы, включавшей в себя:

- единое радиолокационное поле ПВО страны, обеспечивавшее радиолокационной информацией о целях КП и пункты управления любого ранга;
- систему вооружения РТВ, включавшую различные типы РЛС, позволявшую строить РЛ поле страны и обеспечивать необходимые точности координат (и скоростей) целей и перехватчиков;
- радиолокационные узлы (РЛУ) и посты (маловысотные и др.), а также КП РТВ различных рангов, на которых объединяется информация различных радиолокационных средств, осуществляется пеленгация целей-помехоносителей, автоматическое (полуавтоматическое) сопровождение целей и средств перехвата и которые обеспечивают информацией средства и пункты управления в АСУ войск ПВО.

Приборы и системы наведения истребительной авиации

Задача борьбы с воздушными целями вызывала интерес специалистов по ПУАЗО к наведению на эти воздушные цели истребителей-перехватчиков, т. е. к решению усложненной «задачи встречи» (только теперь не зенитного снаряда, а истребителя с целью). Первые приборы управления и наведения (ПУН) истребителей-перехватчиков были испытаны совместно с опытным образцом РЛС «Обсерватория» и показали обнадеживающие результаты, позволившие предпринять опытно-конструкторскую разработку средств КП авиационных соединений ВВС для управления и наведения истребителей на самолёты противника «Ясень-1» и «Ясень-2» (1949–1950 гг.).

Для развития этого направления в 1953 г. началась разработка комплексной автоматизированной системы оповещения, управления и наведения истребителей на бомбардировщики противника АСУ «Воздух-1» (1953 г.).

Для решения задачи наведения истребителей на самолёты противника началась разработка прибора «Каскад» (1955 г.). Разработка аппаратуры наведения «Каскад» и далее «Каскад-М» (1955 г., 1960 г.) стала школой мышления и конструкторского мастерства для многих специалистов и разработчиков института. В процессе разработок выросла большая группа организаторов научных исследований и разработчиков техники и математического обеспечения, среди которых необходимо

упомянуть А.Л. Лившица, Е.А. Мурзина, М.И. Михайлова, А.М. Маркуса, В.А. Шабалина, В.П. Тибилова, Н.Н. Никитина, С.С. Высоцкого, Д.Н. Асмакова, Н.К. Алейникова, В.А. Сартори, Л.Б. Горощенко, Л.Н. Тимонова, А.Н. Федюнина и многих других.

Коллективом института в 1950–1970-е гг. был пройден нелёгкий путь от первых ПУН до АСУ тактического соединения ПВО («Луч-1», «Луч-2», «Луч-3», «Луч-4», «Пирамида-1»), в которых задачи управления и наведения истребительной авиации решались с помощью комплексов средств «Каштан» (1958 г.), «Прибой» (1965 г.), «Рубеж» (1970 г.), «Сплав» (1972 г.), с самого КП ТС, оборудованного комплексом средств управления «Протон» (1962 г.) и др. модификаций (1968 г.), или «Универсал» (1975 г.) и с помощью комплекса «Шмель» (1973 г.) (на самолёте).

Аналоговые методы решения задачи наведения в разработках «Каскад» («Каскад-М») и «Каштан» уступили место цифровым методам с использованием ЭВМ и спецустройств вычислительной техники третьего (на интегральных микросхемах) и четвёртого (на микропроцессорных БИС) поколений.

От первых систем и средств наведения ИА институт пришёл к разработке комплексных систем управления практически всеми средствами противосамолётной обороны в тактическом соединении и вырос в ведущую организацию по созданию АСУ ПВО страны с максимальной унификацией средств АСУ ПВО войск.

Разработка территориальных АСУ реального времени

В 1959 г. в институте было начато проектирование конкретных систем управления. Первой такой системой стала разработка информационной подсистемы малой производительности в подвижном исполнении «Низина». Обработка данных в ней осуществлялась полуавтоматически на элементах аналоговой техники. Подсистема в 1964 г. была принята на снабжение, её серийное производство велось до 1972 г.

Разработка опытного образца информационной подсистемы средней производительности в подвижном исполнении «Межа» началась в 1959 г. Аппаратурный комплекс был выполнен в основном на элементах второго поколения с использованием вычислительного комплекса на базе ЭВМ «Курс-1» и специальных устройств. Первый опытный образец прошёл испытания в 1964 г., и система была передана в серийное производство. В 1966 г. второй образец с расширенными возможностями после проведения испытаний был принят на спецснабжение, а в 1968 г. — заказчиком.

В начале 1960-х гг. институту, имевшему к этому времени опыт создания больших территориальных систем, было поручено развивать научно-техническое направление по созданию систем автоматизации наземных комплексов управления (НКУ) космическими аппаратами (КА) и службы контроля космического пространства (СККП). В 1963–1967 гг. было проведено эскизное проектирование КСА центра контроля космического пространства (ЦККП). Основу комплекса аппаратуры ЦККП составила система вычислительных средств, состоявшая из четырёх взаимосвязанных ЭВМ 5Э92 «Б» и общего поля внешней памяти на

магнитных барабанах (МБ) и магнитных лентах (МЛ). В 1964 г. была задана работа по проектированию системы автоматизированного управления наземного командно-измерительного комплекса для управления полётами космических объектов (система «Скат»).

Очень важной и интересной была работа по созданию Центра управления воздушным движением гражданской авиации «Стрела» в г. Ростове-на-Дону.

Одной из первых территориальных автоматизированных систем управления войсками, работавших в реальном масштабе времени, была система в Северо-Западном регионе РТЦ-94 (РТЦ-94М), командный пункт которой был оснащён специализированной ЭВМ типа «Кристалл», «Радон», а затем «Гранит».

Первая часть работ была направлена на организацию развёртывания и на обеспечение сопряжения всех элементов (подсистем) системы между собой и с автономным командным пунктом (КП ТС). Были разработаны соответствующие правила и порядок взаимодействия для каждой пары взаимодействующих объектов, и они были реализованы для всей системы в целом. Были развёрнуты все требуемые средства связи и передачи данных. Большое внимание было уделено реализации системы функционального контроля, с помощью которой устанавливается правильность взаимодействия элементов автоматизированной системы между собой и собственно функционирования системы в целом.

Все перечисленные работы по системе в целом и по комплексу средств автоматизации КП ТС, уникальные по своей сложности, новизне и объёму, были выполнены в установленный срок. Система успешно прошла испытания и в начале 1979 г. была принята заказчиком.

За создание комплексной территориальной автоматизированной системы специалистам МНИИПА были присвоены звания лауреатов Государственной премии, среди них И.К. Филатов, С.В. Володин, А.Н. Марков, И.Т. Шаповалов, А.З. Минкин, О.Ю. Ланэ, Н.В. Мохин, Е.Н. Кондратьева.

В ходе создания, испытания и внедрения этой первой для института комплексной территориальной автоматизированной системы управления силами и средствами ПВО был выполнен целый комплекс крупных научно-технических задач на основе решений, отличающихся оригинальностью и новизной:

- разработана и проверена на практике методология проектирования крупных территориальных АСУ, учитывающая специфику районов развёртывания;
- разработана и реализована система сбора, обработки, обобщения и укрупнения информации о воздушной обстановке с обеспечением требуемого ее качества;
- разработана и реализована система управления активными средствами ПВО (ИА, ЗРВ, радиопротиводействия), обеспечивающая заданную эффективность их применения (с реализацией различных режимов управления — централизованного, децентрализованного и смешанного);
- разработаны и проверены на практике принципы построения системы связи и передачи данных, позволяющие создавать разветвлённую сеть автоматически коммутируемых каналов связи и передачи данных огромной протяженности;

- разработано программное обеспечение, функционирующее в режиме реального времени, для средств автоматизации всех видов КП системы общим объёмом свыше 1 млн команд;
- разработаны и опробованы научные методы комплексной отладки и проверки работоспособности системы, которые позволили провести отладку и испытания системы при ограниченном количестве экспериментов с использованием лётных средств.

В результате всего этого удалось существенным образом повысить эффективность тактических соединений ПВО.

Решённые при создании, испытании и внедрении данной системы научно-технические проблемы и полученный при этом опыт явились мощной основой для осуществления дальнейшей программы развития АСУ ПВО и нашли широкое применение в новых перспективных и модернизации ранее созданных АСУ как для ПВО, так и для других областей применения.

После успешного завершения работ по данной системе разработка крупных комплексных территориальных автоматизированных систем управления широкого назначения стала основным направлением деятельности института.

В 1972 г. была начата разработка новой элементной конструкторской технологической базы (ЭКТБ) третьего поколения, которая получила условное наименование ЭКТБ «Основа-72». В ней использовались многослойные печатные платы (МПП) и микросхемы 133-й серии, которые к тому времени начали серийно производить предприятия Министерства электронной промышленности (МЭП). В МНИИПА был создан цех по производству многослойных печатных плат (в основном 4-слойных, но максимально возможное количество слоев было 12). Большая заслуга в организации этих работ принадлежала главному инженеру А.Н. Коротыношко и начальнику цеха С.С. Арцимовичу.

В связи с тем, что довольно часто наблюдались отклонения характеристик микросхем от требований технических условий, в институте был организован тщательный входной контроль исходных микросхем. Это обеспечивало использование комплектующих с необходимыми характеристиками. Производство было хорошо налажено. Образно ЭКТБ «Основа-72» можно представить в такой последовательности: микросхемы → МПП → ТЭЗ (типовой элемент замены) → блок → шкаф → прицеп (контейнер) → совокупность прицепов (сопряжённых между собой) и с узлом связи, обеспечивающим приём/передачу данных от удалённых автоматизированных систем управления (АСУ) реального времени.

В 1977 г. Московскому НИИ приборной автоматики была поручена разработка новой системы ПВО г. Москвы и Центрального промышленного района (система С-50) с требованием максимальной автоматизации процессов обработки и управления при использовании в системе самых современных зенитных ракетных комплексов, РЛС и средств передачи данных и связи, обеспечивающих функционирование системы в реальном масштабе времени.

Эта система разрабатывалась с учётом существовавших к тому времени позиций зенитных ракетных дивизионов, развёрнутых в рамках системы С-25, созданной в 1955 г. (головной разработчик — КБ-1, генеральный конструктор А.А. Расплетин). Принципиальное отличие системы С-50 от системы ПВО С-25 было в том, что в системе С-50 создавались

автоматизированные командные пункты (КП) на КП четырёх зенитных ракетных корпусов, замыкавшихся на КП 1-й Особой армии ПВО. Кроме этого, в составе каждого корпуса были созданы автоматизированные объединенные воедино радиолокационные информационные поля, обеспечивавшие непрерывное обнаружение средств воздушного нападения на высотах от 60 м до 27 км, а также обнаружение баллистических целей с заранее разведанного направления.

В системе С-50 были использованы только что прошедшие полигонные испытания зенитные ракетные системы нового поколения С-300П (ПС) (генеральный конструктор Б.В. Бункин), разработанные для оснащения Войск ПВО страны, и самоходные С-300В2 (генеральный конструктор В.П. Ефремов), разработанные для оснащения Сухопутных войск (специально для уничтожения баллистических целей). Кроме того, в состав С-50 были включены новые радиолокационные станции СТ-67 (главный конструктор Ю.Н. Соколов, Нижегородский радиотехнический институт), предназначенные для обнаружения целей на фоне помех на средних и больших высотах, и новые многолитерные станции СТ-68 УМ (главный конструктор М.И. Мирошниченко, КБ Запорожского электро-механического завода).

Еще одной очень важной особенностью системы С-50 было то, что её автоматизированный командный пункт (КП 1-й Особой армии ПВО) был сопряжён с автоматизированным командным пунктом системы ПРО (генеральный конструктор А.Г. Басистов, Научно-исследовательский институт радиоприборостроения (НИИРП)). Это позволило синхронизировать функционирование обеих систем (ПВО и ПРО) и обеспечить эффективную защиту г. Москвы и Центрального промышленного района практически в зоне противодействия воздушным и космическим целям. В 1993 г. на научно-техническом совете Войск ПВО страны, на котором заслушивались результаты этих ОКР, один из основных докладчиков — начальник 45 ЦНИИ Минобороны генерал Г.С. Батыр в своем докладе обосновал и впервые назвал эти сопряжённые между собой системы первым вариантом системы воздушно-космической обороны, созданной в Российской Федерации. В 1994 г. система С-50 была принята на вооружение Указом Президента Российской Федерации № 833 от 25.04.1994 г.

Вся система С-50 в целом, в том числе АСУ, автоматизированные КП, новая многоканальная (со 100-процентным резервированием) система связи и передачи данных создавалась МНИИПА (главный конструктор Н.В. Мохин, Я.В. Безель) совместно с Московским округом ПВО, 2 ЦНИИ МО, ЦНИИ связи Минсвязи СССР, НПО «Алмаз», НИЭМИ и др. Уровень автоматизации процессов и эффективность системы были доведены до уровня, которого не смогла достигнуть ни одна зарубежная система.

Одной из центральных разработок, которую вёл коллектив института по основной тематике до середины 1990-х гг., было завершение создания и принятие заказчиком централизованной зенитно-ракетной системы Центрального промышленного района Москвы. Система была уникальной по сложности и объёмности решаемых научных, военно-технических и организационных проблем. Принятие заказчиком в 1994 г. указанной системы стало успешным завершением многолетней работы института как головного разработчика и более 20 смежных организаций различных отраслей.

Возвращаясь к началу этой разработки, надо иметь в виду, что в 1970-х гг. наметилась устойчивая тенденция создания широкого класса беспилотных средств воздушного нападения, в том числе тактических и стратегических ракет (ТКР, СКР) и авиационных ракет, забрасываемых по баллистическим траекториям (АБР) типа СРЭМ и АСАЛМ. При этом наиболее вероятным и эффективным способом, по мнению военных специалистов, является применение СКР типа АЛКМ, действующих на предельно малых высотах. Поэтому создание большой территориальной системы являлось работой, которая впервые на современном централизованном уровне решала задачи ПВО с выполнением заданных уровней требуемой эффективности и прикрытия объектов от ударов СКР и АБР в условиях сложной помеховой обстановки при плотных боевых порядках средств нападения возможного противника.

Тактико-техническим заданием на систему устанавливались высокие требования к основным средствам вооружения, разрабатываемым в интересах этой системы. Централизованная автоматизированная система управления должна была обеспечить надёжное, с высоким качеством управление, в том числе точное поканальное целеуказание огневым средствам, управление внешним информационным полем с КП секторных группировок и КП системы при отражении массированных ударов средств воздушного нападения, а в мирное время — управление дежурными средствами системы.

К зенитным ракетным средствам предъявлялось требование надёжного поражения целей типа СКР АЛКМ, АБР АСАЛМ и СРЭМ на больших и малых высотах в условиях сильного радиопротиводействия. Информационная подсистема должна была обеспечить обнаружение и устойчивое автосопровождение малоразмерных скоростных летательных аппаратов на предельно малых и больших высотах. Система связи и передачи данных должна была быть способна обеспечить устойчивую, качественную передачу в телекодовом режиме команд управления, оперативных и служебных переговоров. Высокие требования были предъявлены и к другим подсистемам. Эти требования в процессе создания системы были выполнены.

Созданная система ПВО г. Москвы была уникальной по составу средств и обеспечиваемой эффективности обороны, не имевшей аналогов в мировой практике организации территориальной ПВО. Без преувеличения можно утверждать, что успешное руководство таким масштабным и сложным в научно-техническом и организационном плане проектом является ярчайшей страницей в истории МНИИПА, обусловило заслуженно высокий деловой авторитет института и его разработчиков.

Именно в указанной работе в полную меру раскрылся талант и высочайшая квалификация основных разработчиков алгоритмов и программ, составляющих основу любой современной АСУ.

В 1992 г. были завершены работы по созданию районной автоматизированной системы УВД (РАС УВД) «Стрела». Система была развёрнута в Ростовском объединённом районе единой системы УВД. Она явилась первой отечественной трассовой АС УВД для районов с высокой интенсивностью полётов. В 1992 г. система «Стрела» была принята в штатную эксплуатацию.

В 1995–1997 гг. выполнялась НИР «Координатор», результаты которой впоследствии использовались в ОКР «Небосвод».

В ОКР «Небосвод» осуществлялось создание региональной сети малых систем планирования, управления и регулирования (МС ПУР) потоков воздушного движения России. В 1996 г. был выпущен технический проект, в 1997–1998 гг. осуществлена разработка комплекта рабочей конструкторской документации и изготовлен опытный образец. В 1997–1999 гг. проведены предварительные, а в 2000 г. — государственные испытания региональной сети. С 2000 г. шла поставка серийных малых систем в центры ЕС ОрВД. Были оснащены сектора в Волгоградском, Вологодском, Мурманском, Архангельском, Сочинском, Петропавловск-Камчатском, Иркутском, Южно-Сахалинском районных центрах ЕС ОрВД, а также в Санкт-Петербургском, Самарском, Новосибирском, Екатеринбургском, Калининградском и Хабаровском зональных центрах ЕС ОрВД. Малые системы УВД были развёрнуты на ряде КП объединений ВВС, в академии им. Ю.А. Гагарина в п. Монино и в филиале академии в г. Ейске. В 2003 г. малая система МС УВД-4 была развёрнута на вертолётной площадке «Центр» в Московском Кремле для обслуживания полётов Президента Российской Федерации.

В течение этого периода одновременно в ОКР «Крым» велась разработка КСА контроля за соблюдением порядка использования воздушного пространства. При этом создавался унифицированный ряд изделий «Крым». В научно-техническом плане данная разработка явилась творческим объединением предшествующего опыта, накопленного разработчиками и конструкторами МНИИПА в области средств автоматизации как ПВО, так и УВД. В изделиях «Крым», предназначенных для оснащения КП радиотехнических подразделений и частей ПВО, впервые были воплощены идеи совместной обработки в едином процессе радиолокационной и планово-диспетчерской информации о полётах воздушных судов в целях осуществления надёжного, достоверного контроля за порядком использования воздушного пространства в реальном масштабе времени.

Комплексы унифицированного ряда «Крым», предназначенные для оснащения командных пунктов радиотехнических бригад частей, корпусов ВВС и ПВО, успешно прошли государственные испытания и были подготовлены к серийному производству. В период с конца 2002 г. по 2005 г. в ОАО «МНИИПА» были изготовлены и развёрнуты на объектах эксплуатации более 10 серийных комплексов комплексов «Крым». По рекомендации межведомственной комиссии, проводившей государственные испытания, были выполнены работы по обеспечению сопряжения комплексов «Крым-КТ» с малыми системами пла-



Рис. 9

КСА «Крым-Э». АРМ начальника группы планирования и начальника группы контроля

нирования в целях решения перспективной задачи совместного использования различными министерствами и ведомствами. В феврале 2006 г. решением Правительства РФ унифицированное изделие «Крым» всех модификаций было принято на вооружение.

В 1993 г. Московскому НИИ приборной автоматики была поручена разработка комплексного проекта по созданию воздушно-космической обороны (ВКО) Российской Федерации и зон ПВО. Проекты были разработаны МНИИПА с участием 2 ЦНИИ МО, НПО «Алмаз», НИИРП, НИЭМИ. Первым проектом систем космической обороны был комплексный проект системы ВКО РФ в целом (условное название «Омега-РФ»). Акт комиссии по приёмке проекта «Омега-РФ» с положительными результатами был утверждён главкомом Войск ПВО 31 декабря 1993 г. Затем был разработан комплексный проект ВКО Центрального промышленного района («Омега-ЦПР»). Акт приёмки с положительными результатами был утверждён 31 марта 1994 г. первым заместителем главкома Войск ПВО. Завершающим был очень объёмный комплексный проект преобразования семи зон ПВО в зоны ВКО («Омега-зон»), акт на который был утверждён главкомом Войск ПВО 19 июня 1997 г. Одним из важных результатов проектов, которые затем были согласованы со всеми видами ВС РФ и другими ведомствами, явилась разработка концепции ВКО РФ. В 2006 г. концепция ВКО РФ была утверждена Президентом России.



Рис. 10
КСА «Фундамент-Э». Общий вид

В конце 1995 г. и в начале 1996 г. были проведены полигонные испытания опытных образцов ряда КСА «Фундамент» по согласованной ограниченной программе. В 1997–1999 гг. коллектив обеспечил разработку конструкторской документации, программного обеспечения, а также методик испытаний вышеуказанных изделий. В 2000 г. были проведены с положительным результатом полномасштабные предварительные испытания (ПИ) этих изделий и осуществлена их подготовка к государственным испытаниям, которые были завершены в 2004 г. В 2005 г. более 10 комплектов ряда «Фундамент» были поставлены заказчику.

Следует отметить, что наш институт проводил работы по созданию АСУ ПВО в интересах объединенной системы ПВО стран – государств СНГ. Были подготовлены предложения по структуре систем в различных регионах (рис. 11, 12, 13).



Рис. 11
Структурная схема системы управления ОС ПВО СНГ

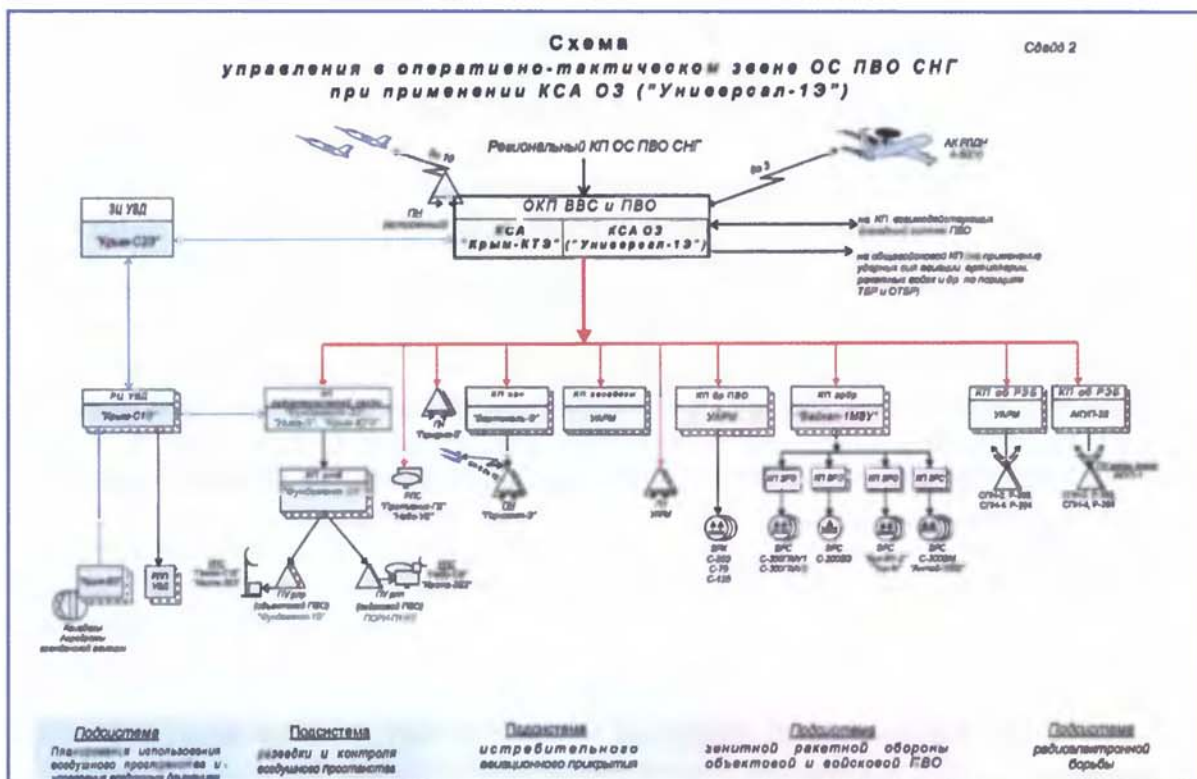


Рис. 12
Схема управления в оперативно-тактическом звене ОС ПВО СНГ при применении КСА ОЗ

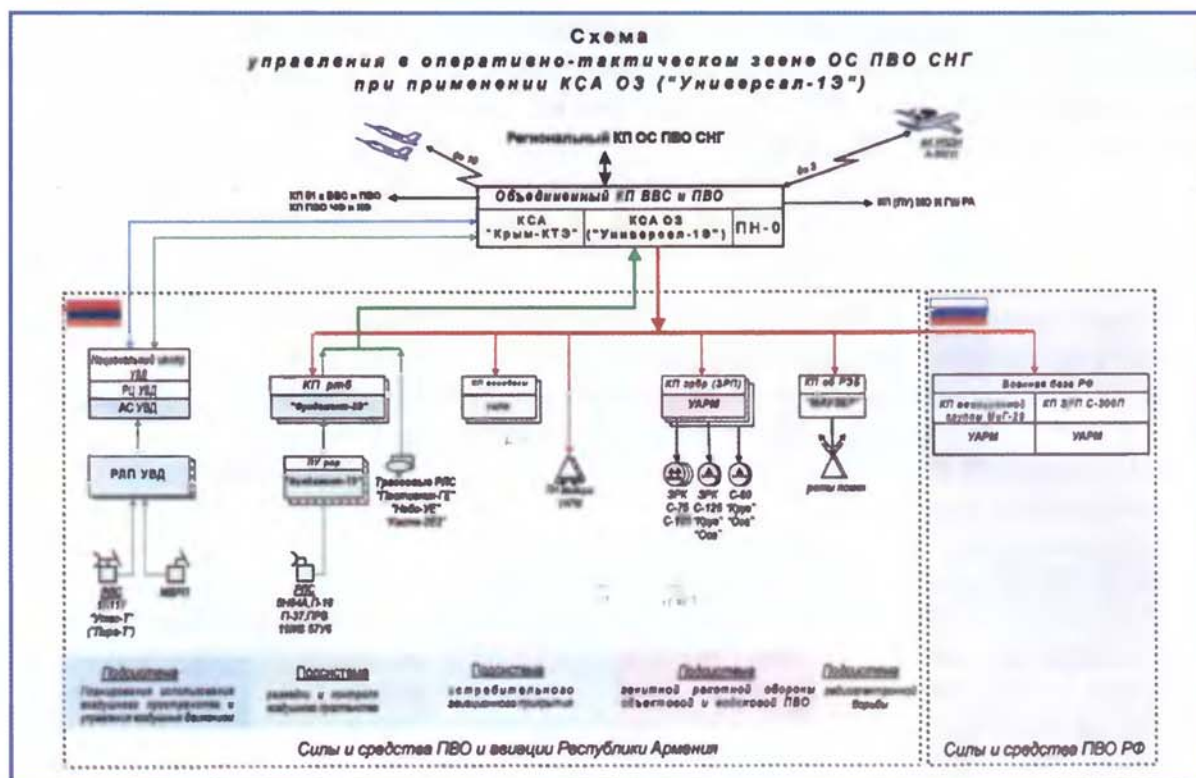


Рис. 13
Схема управления в оперативно-тактическом звене ОС ПВО СНГ при применении КСА ОЗ

В 1998 г. по инициативе государственной компании России «Спецнестехника» дочернему предприятию МНИИПА «Протон-Сервис» была поручена разработка комплексного проекта по созданию АСУ локальной группировки ПВО государств в Центральной и Восточной Азии. Работа выполнялась по контракту и была принята заказывающей стороной. В соответствии с исходными данными локальная группировка ПВО (или совокупность локальных группировок) должна была обеспечивать защиту одного крупного города с комплексом промышленных предприятий (главный объект) и двух важных точечных объектов. При этом, с учётом рельефа местности, должны обеспечиваться зоны обнаружения и уничтожения воздушных целей на малых высотах на дальностях 30–60 км, на средних и больших высотах на дальностях 300–400 км. Были рекомендованы к использованию в качестве активных средств зенитные ракетные комплексы российского производства ЗРК С-300 ПМУ-1, С-300 ПМУ и С-75. С учётом этих исходных данных нами была предложена в качестве автоматизированного КП локальной группировки только что принятая на вооружение в России (после проведённых в 1996 г. государственных испытаний в Капустинском Яре) АСУ зенитной ракетной бригады (полка) «Байкал-1Э», которая могла управлять как зенитными ракетными системами С-300 П при наличии КП С-300 П, так и непосредственно зенитными ракетными комплексами С-300 П (что первоначально планировала заказывающая сторона). Один из вариантов предложенной структуры локальной группировки приведен на **рис. 14**.

Среди последних разработок института можно выделить автоматизированные системы управления зенитной ракетной бригады (полка) «Байкал-1МЭ», комплекс средств автоматизации КП корпуса (дивизии)

ПВО и ВВС «Универсал-1Э», унифицированный ряд комплексов средств автоматизации командных пунктов, пунктов управления радиотехнических соединений, частей, подразделений межвидового применения «Фундамент-Э», унифицированный ряд комплексов средств автоматизации контроля использования воздушного пространства межвидового применения «Крым-Э», систему «Небосвод», командно-сигнальную систему «Патрон». В 2009 г. нами разработана АСУ «Байкал-1МЭ» с использованием созданных к этому времени отечественной промышленностью (в частности, объединением «Корунд», Пензенским ФГУП «ПО Электроприбор») новых вычислительных средств. В 2009 г. были проведены государственные испытания и начато серийное производство этой системы. Документация разработана как для стационарного, так и для подвижного вариантов. Характеристики АСУ «Байкал-1МЭ» были значительно улучшены по сравнению с предыдущими модификациями, в первую очередь увеличены производительность до 500 воздушных объектов и скорость, повышена эффективность передачи информации за счёт использования современного вычислительного комплекса «Багет-МТ», разработанного Пензенским ФГУП «ПО Электроприбор».

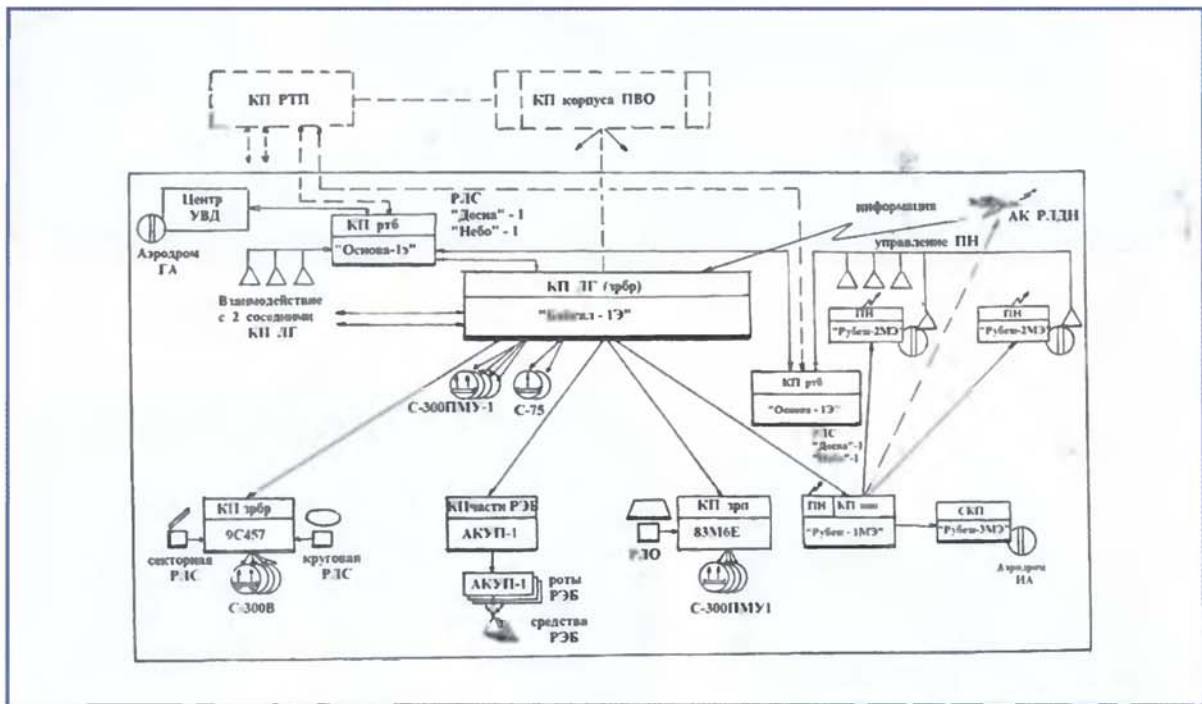


Рис. 14

Вариант структурной схемы АСУ локальной группировки ПВО (рекомендуемый)

В 2009–2010 гг. ОАО «МНИИПА» выполнялись научно-исследовательские работы, непосредственно имевшие отношение к развитию средств и систем ВКО:

- исследование вопросов построения воздушно-космической обороны;
- оптимизации систем опознавания и государственной принадлежности воздушных судов гражданской авиации и самолётов Министерства обороны России и зарубежных стран;

- исследование вопросов оптимизации эффективности использования высокоточного оружия (ВТО) и развития средств уничтожения ВТО противника;



Рис. 15
Модернизированная АСУ збр (зрп)
«Байкал-1М»



Рис. 16
Мобильный (возимый) вариант КСА
«Универсал-13»

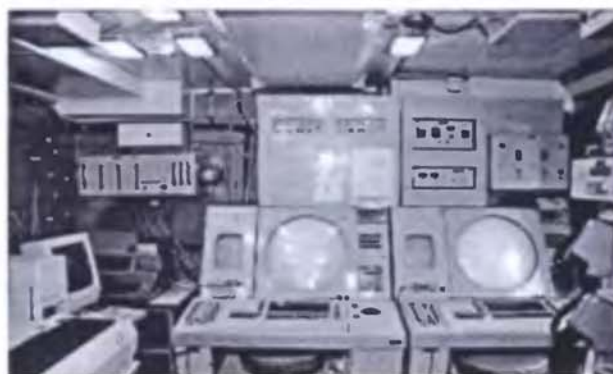


Рис.17, рис. 18
Аппаратурный комплекс модернизированного АСУ «Байкал-1МЭ»



Рис. 19, рис. 20
Автоматизированные рабочие места КСА «Универсал-13»
(стационарный вариант исполнения)

по тематике, связанной с совершенствованием автоматизированных систем управления авиацией и ПВО России. Был разработан аванпроект по обоснованию принципов перспективной автоматизированной системы управления авиацией и ПВО на базе программно-технических средств с использованием базовых информационных компьютерных защищенных технологий.

Важнейшим направлением работ ОАО «МНИИПА» является модернизация системы С-50. Основные этапы модернизации:

- восстановление и поддержание необходимого ресурса средств системы;
- замена КСА КП системы С-50 и КП секторных группировок на модернизированные КСА «Универсал-1» и «Байкал-1М»;
- ввод в систему нового вооружения ЗРВ и РТВ по мере завершения их испытаний и начала серийного производства до количественного уровня, определенного в ЭТП;
- модернизация системы связи с учётом рекомендаций ЭТП с опережающим ее развитием по отношению к срокам развертывания средств системы;
- проведение предварительных и государственных испытаний.

Исследования, проведенные в последующие годы, позволили сформировать облик перспективной системы управления ВКО, отличительная особенность которой — возможность управлять всеми разнородными силами и средствами видов и родов ВС РФ — как наступательными, так и оборонительными, действующими в интересах ВКО. Информационный обмен между средствами, выделенными для решения задач ВКО, осуществляется посредством глобальной сети. Базовой основой для ее построения в настоящее время служат локальные сети средств автоматизации систем разведки и поражения. Как показали исследования, большинство сетей комплексов автоматизации функционирует по единому стандарту и готовы к объединению в глобальную сеть.



Рис. 21
Внутренний вид кабины
«Байкал-1МЭ»

Переход к новой системе управления, несомненно, займёт определённое время, необходимое для окончательного формирования технического облика системы ВКО и проведения модернизации средств связи и программного обеспечения.

Литература

- Безель Я.В., Третьяков В.Н. К вопросу создания единой автоматизированной системы управления ВВС // Вопросы радиоэлектроники. – Сер. СЦИУ. – 2000. – Вып. 1.
- Безель Я.В., Мазов В.А., Тихомиров Ю.Е. К вопросу об автоматизированной системе управления ВКО // Вопросы радиоэлектроники. – Сер. СЦИУ. – 2001. – Вып. 1.
- Безель Я.В. Научные разработки систем и средств ПВО // Военный парад. – 2010. – № 4 (100).
- Горощенко Л.Б., Максимович В.А. Автоматизация управления боевыми действиями истребительной авиации. – М.: МНИИПА, 1996.

- Дергачев А.П., Коган Ю.А., Перфильев В.В. Системо-технические принципы построения перспективной АСУ войсковой ПВО оперативного звена // Вопросы радиоэлектроники. – Сер. СОИУ. – 2000. – Вып. 1.
- Общесистемное проектирование АСУ реального времени / С.В. Володин, А.Н. Макаров, Ю.Д. Умрихин, В.А. Фараджев. / Под ред. В.А. Шабалина. – М.: Радио и связь, 1984.
- 75 лет МНИИПА. Страницы истории. – М.: ОАО «МНИИПА», 2006.
- Теория и основы проектирования ПУАЗО. Монография в 4-х частях. – Издание НИИ-5, 1956.



ЧЕЛЬЦОВ Б.Ф.,

первый заместитель генерального директора – исполнительный директор ОАО «МНИИПА», доктор военных наук

ДИАЛЕКТИКА ВОЗДУШНО-КОСМИЧЕСКОЙ ОБОРОНЫ: ОТ ИДЕИ ДО РЕАЛИЗАЦИИ

Развитие средств нападения, овладение ими третьей сферой вооружённой борьбы — воздушно-космическим пространством — обусловили активизацию поиска путей противодействия данным средствам. Создание материальной основы такой борьбы явилось объективным и закономерным процессом.

Защита от ударов средств нападения с воздуха и из космоса стала рассматриваться как одна из важнейших задач обеспечения независимости и устойчивости стратегической обороны государства. Промышленность стала интенсивно создавать комплексы и системы надёжной борьбы со средствами воздушного и космического нападения. Одновременно совершенствовались формы и способы вооружённой борьбы и организационная структура войск.

7 мая 1955 г. первая отечественная стационарная зенитная ракетная система С-25 была принята на вооружение Войск ПВО. Началось зарождение и развитие зенитных ракетных войск, которые стали основой огневой мощи противовоздушной обороны СССР. В конце 1957 г. на вооружение был принят комплекс средней дальности С-75 «Двина», способный совершать маневр на новые позиции своим ходом, а в мае 1961 г. — комплекс С-125 «Нева» для борьбы с воздушными целями на малых высотах.

Активно велось и организационное строительство войск, выполняющих задачи борьбы с воздушным противником. С 1960 г. округа и отдельные армии ПВО стали состоять из корпусов и дивизий ПВО, сформированных по общевойсковому принципу из соединений и частей зенитных ракетных войск и зенитной артиллерии, истребительной авиации, радиотехнических и специальных войск.

Набравшая к этому времени обороты гонка вооружений обусловила появление за рубежом и в нашей стране первых баллистических ракет. В США создавались межконтинентальные стратегические бомбардировщики с базированием на своём континенте и нацеленностью на Советский Союз. Систему ПВО нашего государства повернули «фронтом на Север». В Заполярье, отдалённых северных районах Сибири и Дальнего Востока интенсивно развёртывались радиотехнические войска ПВО, имевшие на своём вооружении самую современную радиолокационную технику. Их силами создавалось вынесенное на максимально

возможные удалённые рубежи радиолокационное предполье. Истребительные авиационные полки ПВО осваивали передовые рубежи обороны на основе нового класса вооружения — авиационных ракетных комплексов дальнего перехвата.

Создавалась простая, экономичная и гибкая система управления Войсками ПВО страны. Объединения Войск ПВО развёртывались на основных оперативно-стратегических направлениях. Границы их ответственности обуславливались удобствами организации и ведения борьбы с воздушным противником и не совмещались с границами военных округов, которые уже в то время сковывали эффективное применение вооружения Войск ПВО на максимальную дальность средств разведки и поражения. Такое оперативное построение Войск ПВО обеспечивало широкое применение систем автоматизированного управления, охват всей территории страны районами противовоздушной обороны.

С появлением в США стратегических БР в составе Войск ПВО страны в апреле 1967 г. были созданы войска, способные вести борьбу с совершенно новым классом средств нападения, действующих через космос и из космоса, — Войска противоракетной и противокосмической обороны. После включения в их состав войск и системы предупреждения о ракетном нападении они были организационно объединены под названием «Войска ракетно-космической обороны» (РКО).

В 1968 г. советский искусственный спутник Земли перехватил и вывел из строя ИСЗ-мишень.

В 1975 г. был поставлен на боевое дежурство Центр контроля космического пространства (ККП). Система ККП создавалась для оповещения высших звеньев государственного и военного руководства о состоянии и изменениях космической обстановки, информационного обеспечения деятельности в околоземном космическом пространстве, контроля за соблюдением международных соглашений по его использованию. Задачи контроля космического пространства вначале решались Центром ККП. В 1988 г. на базе частей центрального подчинения и частей управления по вводу в строй объектов РКО был сформирован отдельный корпус ККП. В 1990 г. он имел в своем составе:

- Центр ККП;
- информационно-аналитический пункт;
- КП комплекса РКО;
- отдельный радиотехнический узел распознавания космических объектов;
- отдельный оптико-электронный узел;
- узел связи и передачи данных.

В мае 1978 г. на вооружение была принята система стратегической ПРО «А-35», способная уничтожать одиночные головные части БР. Она была развёрнута для обороны г. Москвы и включала:

- главный командно-вычислительный центр;
- две секторные РЛС дальнего обнаружения «Дунай-3М» и две «Дунай-3У»;
- восемь противоракетных комплексов средней дальности и систему передачи данных.

В 1988 г. в состав корпуса ПРО были введены отдельный радиотехнический узел с многофункциональной РЛС «Дон-2Н» и новый КП ПРО, на стартовых позициях установлены противоракеты дальнего и ближнего

перехвата. В 1989 г. завершились государственные испытания системы ПРО второго поколения «А-135».

Решение задач противокосмической обороны (ПКО) было возложено на КП комплекса ПКО, поставленный на боевое дежурство в 1979 г. В апреле 1991 г. был принят в эксплуатацию комплекс ПКО «ИС-МУ».

Главным информационным элементом системы РКО стала система предупреждения о ракетном нападении (СПРН), а основным её предназначением — предупреждение высшего политического и военного руководства государства о стартах БР противника, определение направления их полёта и страны-агрессора для своевременного принятия мер и применения отечественных стратегических ядерных сил. К 1970 г. система ПРН в своем составе имела КП, две РЛС надгоризонтного обнаружения «Днестр» для обнаружения атакующих БР с северо-западного направления и комплекс «Крокус» — для доведения информации предупреждения до высшего руководства страны и ВС. Две РЛС «Днестр» были развернуты в районах Иркутска и Балхаша с задачей получения информации с КА и обнаружения БР с южного и юго-восточного направлений.

В Войсках ПВО создавались и другие средства космического и загоризонтного обнаружения стартующих БР на активном участке полёта, работавшие на иных физических принципах их обнаружения. В качестве основного средства контроля района старта ракет и определения страны-агрессора была выбрана космическая система обнаружения стартовавших ракет на активном участке их полёта (УС-К). Для обеспечения высокой достоверности факта стартов БР создавалась и дублирующая подсистема загоризонтного обнаружения стартов ракет.

29 мая 1980 г. было принято постановление ЦК КПСС и Совета Министров СССР о дальнейшем совершенствовании и развитии космической группировки системы ПРН дополнением её группировкой спутников на геостационарной орбите.

К концу 1982 г., после ввода новых средств система ПРН стала многоэшелонной. В её состав были введены две РЛС «Днепр» (Мукачево и Севастополь) для обнаружения атакующих БР с западного и юго-западного направлений, космическая система УС-К и узел загоризонтного обнаружения с ЗГ РЛС «Дуга» (Комсомольск-на-Амуре). Для создания замкнутого поля обнаружения БР на неконтролируемых направлениях в 1984–1985 гг. заступили на боевое дежурство две РЛС НГО «Дарьял» (Печора и Габала, Азербайджан).

К этому же времени были разработаны опытные образцы комплексов средств автоматизации КП РКО и ПВО. Они проходили испытания на стендах генеральных конструкторов, осуществлялось их техническое и алгоритмическое сопряжение для решения задач ВКО с единого ЦКП Войск ПВО.

В 1994 г. была принята на вооружение централизованная зенитная ракетная система ПВО г. Москвы С-50, не имеющая аналогов в мире до настоящего времени.

Развитие средств и систем ПВО и РКО в одном виде Вооруженных сил при централизованном руководстве со стороны главнокомандующего Войсками ПВО позволило обеспечить их комплексное развитие, поиск и реализацию путей повышения эффективности отдельных средств.

В 1980–1990-х гг. были успешно проведены серии экспериментов по обнаружению станциями ЗГ локации системы ПРН воздушных целей и наведению на них истребителей на дальностях более 2000 км, по определению возможности уничтожения ИСЗ противника авиационной противоспутниковой системой «Контакт», по организации совместного применения систем ПВО и ПРО от ударов аэробаллистических средств нападения. В Войсках ПВО широким фронтом создавалась материальная основа комплексной обороны от ударов средств как воздушного, так и ракетного нападения, имелись ограниченные возможности борьбы с космическими аппаратами противника. С этого времени они фактически стали Войсками воздушно-космической обороны и одним из важнейших факторов стратегического сдерживания агрессора от развязывания ядерной войны.

Комплексные исследования проблем борьбы с воздушно-космическим противником в нашей стране широко развернулись с 1970-х гг. Главными идеологами их решения выступили научные коллективы 2 ЦНИИ МО (г. Калинин, впоследствии – Тверь) и Военной командной академии ПВО им. Маршала Советского Союза Г.К. Жукова. С активизацией исследований к ним подключились ведущие НИУ МО и промышленности, главные штабы видов ВС, академии, в том числе ВАГШ, и главные командования войск на театрах военных действий (ТВД).

Успешное выполнение целой серии первых научно-исследовательских работ (НИР) и созданная научная кооперация при головной роли – 2 ЦНИИ МО позволили Генеральному штабу в 1980 г. и 1982 г. задать комплексные межвидовые НИР с прямой постановкой задач по исследованию оперативно-стратегических проблем военного строительства воздушно-космической обороны. Именно в этот период был сделан новый для того времени научный вывод: угрозу поражения военного и экономического потенциала государства можно отвести только поддержанием ядерного равновесия, обеспечивающего эффективное ядерное сдерживание любого потенциального агрессора.

В рамках этих работ впервые была выявлена и математическая зависимость между основными показателями боевых потенциалов наступательных и оборонительных сил сторон, определены условия равновесия, критические пороги его нарушения, обеспечивающие решающее превосходство одной из сторон. Проведённые оценки позволили уточнить многие принципиальные позиции в строительстве Вооружённых сил. Была определена роль отдельных систем Войск ПВО в различных условиях ведения военных действий – как в ядерной войне, так и в войне с применением только обычных средств поражения. Важными результатами были и предложения по построению единой системы ПВО страны и ВС и её основных элементов, обоснование роли и места войск и сил ПВО в операциях, организационной структуры системы ПВО страны и войсковой ПВО, её структуры управления, перспективной формы стратегических действий ВС РФ по борьбе с воздушно-космическим противником.

Ведущими научными организациями в области ВКО совместно с 45 ЦНИИ МО велись исследования и обоснования путей развития и совершенствования ПВО на континентальных ТВД с учётом поступления перспективного вооружения до 2000 г. Впервые (1982–1984 гг.) была рассмотрена проблема ПРО на ТВД, оценена опасность развития ракет-

ных средств нападения противника, определены возможности объектовой и войсковой ПВО по борьбе с ними.

В 1986 г. была выполнена КНИР «Способы отражения воздушно-космического нападения противника с использованием космического вооружения и новых средств ПВО (ПРО)». Были уточнены система объектов обороны, их приоритетность в обычной и ядерной войне, роль и задачи ПВО, проведён анализ характера боевых действий в космосе до 2000 г. и определены пути противодействия американской программе СОИ («звездных войн»), разработаны предложения по формам и способам применения войск в условиях оборонительного характера советской военной доктрины. Был создан и апробирован новый методический подход обоснования потребностей в средствах ПВО, основанный на комплексном учёте ударных и оборонительных возможностей, а также системы объектов сторон. Потребности в средствах ПВО определялись исходя из обеспечения равных возможностей по нанесению ущерба объектам другой стороны и с учётом принципа оборонной достаточности.

В 1986–1988 гг. была проведена первая НИР («Перспектива»), в которой обосновывались организационная структура ВКО и предложения по преобразованию Войск ПВО в Войска ВКО. В 1990 г. был разработан и методический подход к обоснованию уровня развития ВКО, проведена сравнительная оценка систем ВКО США и СССР.

Результаты военно-теоретических исследований проверялись и реализовывались на многих командно-штабных учениях (КШУ «Днепр-84», «Арктика-84», «Зенит-85», «Центр-87», «Весна-88», «Отражение-89», «Отражение-90»). В ходе учений отрабатывался весь комплекс факторов, определяющих создание ВКО: развитие систем РКО в структуре Войск ПВО, единое управление космическими и некосмическими средствами, единая форма их стратегических действий, комплекс моделей для оценки эффективности применения сил и средств и направления обеспечения войск в различных условиях подготовки и ведения военных действий.

Реализацией основных военно-теоретических положений явилось одобрение Советом обороны СССР 9 ноября 1988 г. «Концепции построения и развития противовоздушной обороны». Несмотря на своё название, концепция имела воздушно-космический характер, учитывала угрозы в воздушно-космической сфере, обеспечивала комплексность подходов к созданию систем оружия и группировок войск ПВО, ПРО, ПКО, единой системы управления силами борьбы с воздушно-космическим противником, единых форм их применения.

В начале 1990-х гг. вопросы воздушно-космической обороны всё чаще поднимались и военно-политическим руководством страны. Во исполнение приказа министра обороны РФ от 8 ноября 1992 г., постановлений Коллегии МО РФ от 30 декабря 1992 г. и от 16 марта 1993 г. в разработку был задан первый комплексный проект системы ВКО РФ (КНИР «Омега-РФ»).

К выполнению этого проекта были привлечены лучшие силы 15 организаций МО и 18 организаций оборонной промышленности.

Основные результаты комплексного проекта были реализованы в Указе Президента Российской Федерации от 13 июля 1993 г. № 1032 «Об организации противовоздушной обороны в Российской Федера-

ции». В нём была определена и ответственность руководства воздушно-космической обороной. Общее руководство возлагалось на Генеральный штаб ВС РФ, а непосредственное — на главнокомандующего Войсками ПВО, которое он должен был осуществлять с ЦКП Войск ПВО через непосредственно подчиненных ему командующих объединениями РКО и зонами ПВО. На Войска ПВО возлагался весь объём задач ВКО государства.

Были определены и базовые принципы построения воздушно-космической обороны:

- единая ответственность за борьбу со всеми СВКН во всём диапазоне высот и скоростей над всей территорией Российской Федерации;
- сосредоточение основных усилий на важнейших стратегических воздушно-космических направлениях и на обороне наиболее важных группировок СЯС, высших звеньев управления, объектов экономики и ядерной энергетики, группировок войск и сил флота;
- эшелонированное построение ВКО с комплексным использованием всех сил, решающих задачу борьбы с воздушно-космическим противником;
- быстрое реагирование на региональные кризисы путем создания мобильного резерва сил ПВО и мобилизационного развертывания при минимальном составе группировок мирного времени;
- решение задач совместно с войсками и силами ПВО других государств — участников СНГ в объединенной системе ВКО;
- объединение усилий министерств и ведомств РФ, располагающих средствами радиолокационной разведки, с созданием федеральной системы разведки и контроля воздушного пространства (ФСР и КВП) на базе системы управления и средств РТВ ПВО, радиолокационных средств ВВС, военных округов и флотов, Министерства транспорта РФ;
- единое управление объединениями ПВО, войсками и силами ПВО ВВС, военных округов и флотов в зонах и районах ПВО, которые создаются на основе развёрнутых и несущих боевое дежурство в мирное время объединений ПВО.

Начавшиеся в середине 1990-х гг. так называемые реформы ВС РФ, проводившиеся на основании Указа Президента РФ «О первоочередных мерах по реформированию ВС РФ и совершенствованию их структуры» от 16 июля 1997 г., преобразовывали РВСН, Военно-космические силы и войска ракетно-космической обороны Войск ПВО в вид ВС РФ — Ракетные войска стратегического назначения, а ВВС и Войска ПВО — в вид ВС РФ — Военно-воздушные силы. Войска ПВО были ликвидированы.

Это решение полностью остановило все процессы создания ВКО Российского государства. Лишь спустя 9 лет, преодолев межведомственные противоречия, 5 апреля 2006 г. Президентом РФ была утверждена «Концепция воздушно-космической обороны Российской Федерации на период до 2016 года и дальнейшую перспективу». В ней была юридически на государственном уровне закреплена необходимость создания ВКО, определены её роль и место в общей системе обеспечения безопасности государства, требования, предъявляемые к ВКО, а также основные направления её создания.

Воздушно-космическая оборона Российской Федерации¹ определялась как система политических, экономических, военных, военно-технических, правовых и иных мер по подготовке и ведению военных действий в воздушно-космическом пространстве. Фиксировалось, что она является составной частью единой системы обороны страны.

С военно-политической точки зрения ВКО была определена одним из важнейших факторов обеспечения стратегической стабильности, сдерживания вероятных противников от развязывания вооружённых конфликтов, предотвращения их эскалации в крупномасштабную войну с применением обычных средств поражения и ядерного оружия.

Концепцией определено, что ВКО должна состоять из систем:

- разведки и предупреждения о воздушно-космическом нападении;
- поражения и подавления сил и средств воздушно-космического нападения;
- всестороннего обеспечения ВКО и управления ею.

Элементы каждой из этих систем развёртываются на земле, на море, в воздушном и околоземном космическом пространстве и объединяются функциональными связями. Применение всех систем должно осуществляться под единым руководством, по единому замыслу и плану, в едином контуре боевого управления.

Одним из важнейших направлений создания и дальнейшего совершенствования ВКО Концепцией определено «создание единой системы управления войсками (силами) и средствами ВС, решающими задачи ВКО, в рамках развития и совершенствования существующей системы управления и связи ВС и формирование единого информационного пространства за счёт развёртывания базовых информационно-управляющих систем и их интеграции с системами оружия и органами управления стратегического, оперативно-тактического и тактического уровней».

В целях уточнения путей реализации Концепции ВКО в условиях реформирования ВС в 2008 г. в рамках КНИР «Властелин-ТП» (головной исполнитель работы – ОАО «Концерн ПВО «Алмаз-Антей», военно-научное сопровождение – ФГУ «2 ЦНИИ Минобороны России») была завершена разработка аванпроекта по созданию системы ВКО государства. По его результатам в новую государственную программу вооружения на период 2011–2020 гг. заложено комплексное развитие средств и систем, решающих задачи ПВО и ПРО.

В 2010 г. завершается очередной этап реформирования ВС РФ. Изменились структура, состав и задачи органов управления, количество и состав военных округов, подчинённость войск, принято принципиальное решение о формировании органа стратегического руководства ВКО.

Сегодня основными действующими нормативно-правовыми документами по созданию системы ВКО России являются: Указ Президента РФ 1993 г. № 1032 «Об организации противовоздушной обороны в Российской Федерации»; решение Совета безопасности РФ от 28 июня 2005 г. «О перспективах развития военной организации Российской Федерации до 2015 года»; «Концепция воздушно-космической обороны Российской Федерации на период до 2016 года и дальнейшую

¹ Концепция ВКО РФ на период до 2016 года и дальнейшую перспективу. Указ Президента РФ от 5.4.2006 г. № 2000.

перспективу», утвержденная Президентом РФ 5 апреля 2006 г.; «Концепция строительства и развития Вооруженных сил Российской Федерации на период до 2020 года», утвержденная Президентом РФ 19 апреля 2010 г.; «Основы государственной политики в области ПВО Российской Федерации на период до 2010 года и на дальнейшую перспективу», утвержденные Президентом РФ 1 февраля 2003 г.

В целях их реализации именно **на современном этапе реформирования ВС РФ** систему ВКО надо строить как межвидовую, привлекая к решению задач ВКО все силы и средства, имеющиеся в видах и родах войск ВС.

Эффективность системы ВКО в перспективе будут определять:

- высокочувствительные средства разведки (датчики) для обнаружения и идентификации объектов в различных физических полях и построенные на их основе разведывательные и активные (ударные) мини-, микро- и наноробототехнические средства различных видов базирования, принципов действия и режимов работы;
- системообразующая программная среда и способы её эффективного применения в различных условиях обстановки и оперативных ситуациях;
- коллективные действия группировок робототехнических средств для системоразрушения «сетевых» воинских формирований, создание боевых и виртуальных боевых платформ, приводящих к системоразрушению действий противника;
- сверхширокополосная радиоэлектроника, теория создания устойчивых, гибких и высокозащищённых сетей управления;
- специализированные геоинтерфейсы военного назначения, способные обеспечить мгновенную передачу интегрированной в едином пространственно-временном контексте разнородной (командной, навигационной, пространственной и т. п.) информации управления и взаимодействия без отрыва от её географического контекста от всех информационных систем ВС с комплексным восприятием этой информации;
- виртуальные КП и штабы, распределенные в пространстве и решающие весь спектр задач боевого управления, обеспечения и подготовки войск на любых ТВД с применением адекватных моделей местности и реалистического моделирования действий войск;
- разветвленные автоматизированные компьютерные сети разведки, информации и управления, интегрированные в единый информационно-управляющий комплекс (единое информационное пространство), гарантированно защищённое от воздействия противника и обеспечивающее оперативное управление подчинёнными и взаимодействующими войсками (силами) и средствами ВКО на ТВД;
- сети распределённой обработки и управления ресурсами для гибкого централизованного управления войсками и оружием в сопрягаемых системах управления различных видов и родов войск ВС, чьи силы привлекаются к решению задач ВКО, в том числе путем ослабления группировок СВКН в базах и пунктах дислокации.

Подходить к созданию перспективной ВКО необходимо как к качественно новой системе, предназначенной для разрушения всей систе-

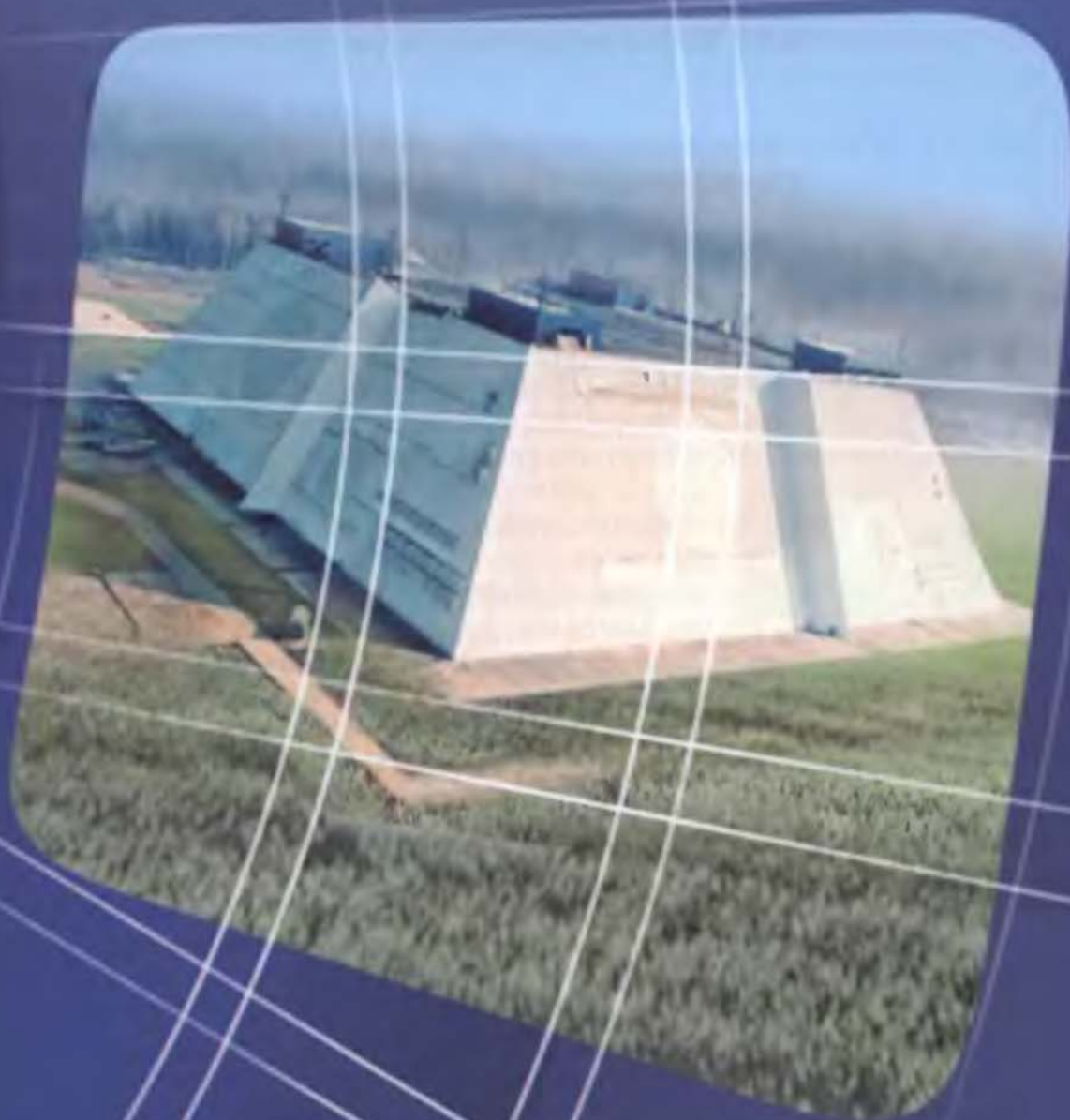
ДИАЛЕКТИКА ВОЗДУШНО-КОСМИЧЕСКОЙ ОБОРОНЫ: ОТ ИДЕИ ДО РЕАЛИЗАЦИИ

мы нападения воздушно-космических сил и средств противника, за счёт комплексного поражения во взаимодействии с силами и средствами других видов и родов войск ВС важнейших элементов и центров управления воздушно-космическим нападением.

Степень повышения эффективности ВКО во многом будет зависеть от принимаемых решений по реализации тех или иных подходов к её созданию и прежде всего к совершенствованию её «сердца и мозга» — информационно-управляющего поля. Многие будут определяться и качеством предлагаемых новых разработок. Но, несмотря на все трудности, есть основания полагать, что интеллектуальный ресурс для решения столь сложных задач в России имеется.

ГЛАВА ВТОРАЯ

ТЕХНОЛОГИИ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ОБОРОНЫ





СЛОКА В.К.,
генеральный конструктор
ОАО «РТИ им. академика
А.Л.Минца», доктор техниче-
ских наук, профессор

СУПЕРРАДИОЛОКАЦИОННЫЕ СТАНЦИИ СВЕРХДАЛЬНОГО ОБНАРУЖЕНИЯ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ОБОРОНЫ

Факторы диалектики суперРЛС сверхдального обнаружения РКО

Этапы становления и развития РЛС сверхдального обнаружения (СДО) РКО связаны с этапами развития средств нападения вероятных противников и изменениями геополитических факторов, которые непосредственно влияют на требования к уровню развития систем стратегических вооружений. Это обеспечивает надёжное сдерживание потенциальных агрессоров от развязывания как ракетно-ядерной, так и крупномасштабной войны с применением обычных средств поражения.

Можно выделить четыре основных периода становления и развития РЛС СДО РКО.

Первый период — 1950–1970 гг., создание РЛС СДО как противодействие новому виду средств нападения — ракетно-ядерному вооружению, получившему бурное развитие в 1950–1960-х гг.

В интересах обеспечения равновесия сил стратегического сдерживания необходимо было быстрое создание информационного «щита», позволявшего надёжно и на больших дальностях обнаруживать атакующие баллистические ракеты противника и тем самым гарантировать своевременные и эффективные ответные действия отечественных ударных ядерных сил.

Использование для этих целей радиолокаторов ПВО, работавших по воздушным целям на дальностях до 200–300 км, не представлялось возможным, так как для сверхдального обнаружения (до 3–6 тыс. км) высокоскоростных целей с малой отражающей поверхностью требовались радикально новые характеристики радаров.

В связи с этим необходимо было в короткие сроки решать принципиально новые задачи создания РЛС, обеспечивающих реализацию радиолокационных характеристик с предельно достижимыми физическими и техническими возможностями. Высокие скорости ракетных и космических целей и предельно высокие требования к достоверности и времени предупреждения об ударе БР потребовали от суперРЛС СПРН

автоматической (без участия оператора) работы в непрерывном круглосуточном режиме с высокой вероятностью обнаружения целей и низким уровнем ложных тревог. Быстрое взаимно увязанное решение всех этих задач потребовало организации и проведения целого комплекса научно-исследовательских работ с привлечением лучших отечественных научно-технических сил и предприятий промышленности.

В 1954 г. эти работы были поручены академику А.Л. Минцу во вновь созданном им Радиотехническом институте (сейчас ОАО «Радиотехнический институт им. академика А.Л. Минца»), а позднее получили свое развитие в НИИ дальней радиосвязи (НИИДАР).

В настоящее время руководство работами по созданию суперРАС сверхдальнего действия осуществляет ОАО «Концерн «Радиотехнические и информационные системы», куда в качестве головных предприятий-разработчиков вошли оба вышеуказанных института.

А.Л. Минц был назначен первым генеральным конструктором СПРН. Его по праву можно считать создателем указанных оборонительных систем и первым главным конструктором суперРАС сверхдальнего обнаружения для систем ПРН и ККП.

А.Л. Минц был выдающимся учёным, создателем крупнейших в стране радиопередающих станций. Он умело объединил достижения своей школы с фундаментальными радиофизическими и радиолокационными достижениями академических школ В.А. Котельникова и Ю.Б. Кобзарева и организовал их дальнейшее развитие совместно с членами-корреспондентами РАН С.М. Рытовым и Л.Д. Бахрахом, а также профессором Я.Д. Ширманом для решения беспрецедентной задачи создания отечественного информационного «щита» стратегических сил ядерного сдерживания.

Все это позволило в 1950–1960-х гг. в короткие сроки создать прочный научно-технический и производственный базис для разработки и создания суперРАС сверхдальнего обнаружения ракетно-космических целей для СПРН на передовом мировом уровне.

Следующей вехой на пути развития суперРАС (второй период — 1970–1990 гг.) послужил Договор по ПРО 1972 г. между ведущими мировыми державами — СССР и США, в котором для каждой из сторон разрешалось иметь только один район для размещения систем ПРО — авиабаза Гранд Фокс (США) и г. Москва (СССР). Для радиолокационных узлов дальнего обнаружения СПРН отводилась пограничная территория государств.

На этом этапе развития стратегических сил ядерного сдерживания существенно усложнились характеристики ударных средств ракетно-ядерного нападения США. На усложнение задач информационного обеспечения большое влияние оказали также и территориальные ограничения, предъявленные Договором по ПРО. Все это потребовало существенного развития всех радиолокационных характеристик отечественных суперРАС СПРН и ПРО в направлении дальнейшего увеличения их энергетического потенциала, точности определения координат целей и алгоритмической многофункциональности.



Рис. 1
Академик А.Л.Минц

Государственная перестройка и связанные с ней изменения в конфигурации государственных границ, расторжение договора по ПРО, сокращение затрат на оборону определили третий период в развитии суперРАС РКО (1990–2010 гг.).

С целью быстрого и экономически эффективного создания отечественных суперРАС в конфигурации новых государственных границ потребовались новые технологии построения суперрадаров РКО, максимально сокращающие строительные работы и использующие компактные быстровозводимые на объекте конструкции высокой заводской готовности (ВЗГ).

Разработка и создание суперРАС ВЗГ нового поколения на базе передовых технологий СВЧ-микронэлектроники и цифровой вычислительной техники стали важнейшей задачей Концерна «РТИ Системы».

В настоящее время под действием новых геополитических факторов, связанных с содержанием нового Договора СНВ-3, идет формирование нового — четвертого — периода в развитии суперРАС РКО.

В качестве ключевых факторов, порожденных Договором СНВ-3, следует рассматривать следующие:

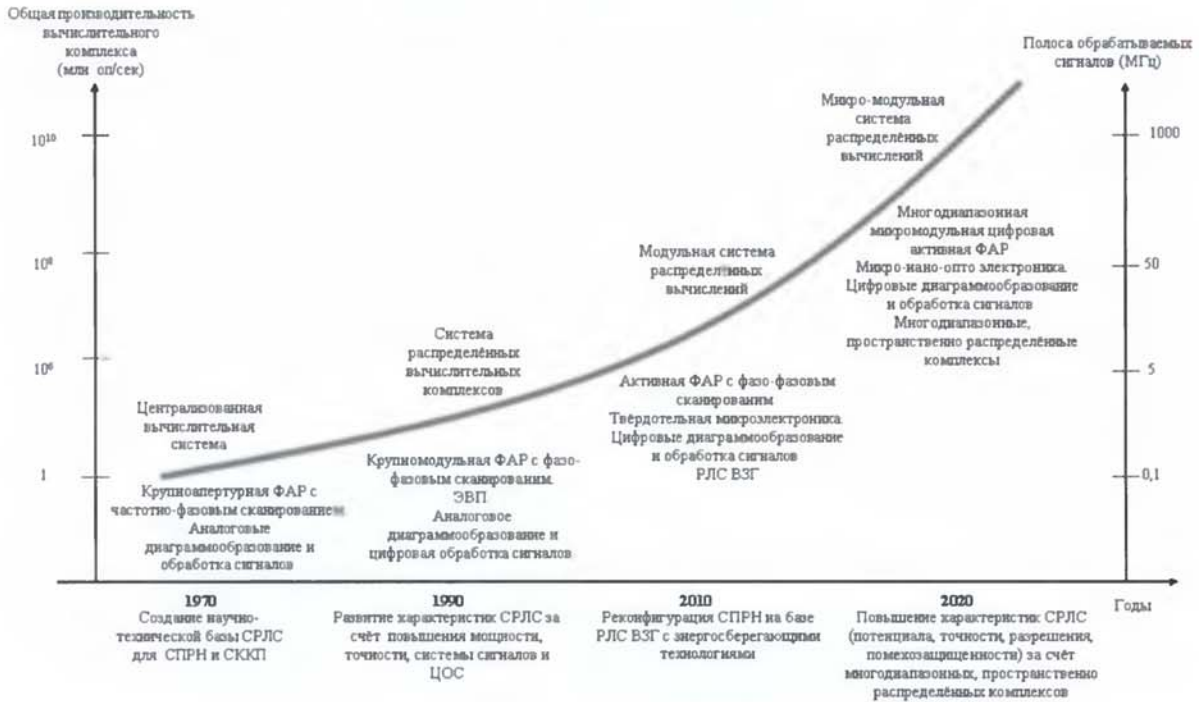
1. Существенное сокращение числа баллистических носителей ядерного оружия и количества боевых блоков на них создает возможность резкого повышения характеристик средств преодоления в компонентах ударных сил. Это потребует от суперРАС РКО радикального повышения помехозащиты и информационности за счёт более полного учёта характеристик целей. Это позволит обеспечить более высокие показатели разрешения целей в большом динамическом диапазоне их эффективных площадей рассеяния (ЭПР).
2. Совершенствование ударных средств нового поколения предусматривает появление в их составе нового класса целей — гиперзвуковых летательных аппаратов (ГЗЛА), обладающих возможностью быстрого изменения высотного профиля полёта. Это требует для их точного сопровождения изменения набора сигналов суперРАС и существенного повышения их пропускной способности.
3. Дальнейшее расширение спектра ударных средств за счёт милитаризации космического пространства, привлечения средств ВТО и развёртывания стратегической ПРО определяет повышение требований к уровням алгоритмических и сигнальных характеристик суперРАС РКО в интересах обеспечения их многофункциональности и информационного многопозиционного взаимодействия.

Поколения суперРАС РКО

В соответствии с периодами становления и развития суперРАС РКО можно выделить четыре поколения этих станций, каждое из которых характеризуется предельными (на период разработки) достижениями отечественной науки и развитой научно-производственной базой.

Обобщенные показатели диалектики развития суперРАС СДО приведены на **рис. 2**.

Первое поколение суперРАС, обеспечивших создание СПРН и СККП, было представлено станциями «Днестр» и «Днепр» (1950–1970 гг.).



Динамика обобщенных показателей поколений супер РЛС

Рис. 2

Динамика обобщенных показателей поколений суперРЛС

Эти суперРЛС представляли собой первые в отечественной практике импульсные станции метрового диапазона волн на базе крупноапертурных антенных фазированных решеток с частотно-фазовым электронным сканированием луча. При создании суперРЛС первого поколения использовались мощные вакуумные СВЧ приборы для мощных передатчиков и приёмников, аналоговая техника формирования и обработки сигналов с применением ультразвуковых линий задержки, а также первые специализированные высокопроизводительные ЭВМ, реализующие сложные алгоритмы работы РЛС в автоматическом режиме.

Созданию суперРЛС «Днестр» и «Днепр» в составе вооружения СБРН предшествовал большой объём научно-технических и экспериментальных исследований, проведенных в Радиотехническом институте и научно-исследовательских институтах Минобороны.

В частности, были проведены натурные эксперименты по наблюдению и измерению ЭПР головных частей баллистических ракет. На основе этих экспериментов был выбран оптимальный диапазон радиоволн. К этой работе, а также к дальнейшим исследованиям всего спектра радиофизических проблем, связанных с разработкой и созданием суперРЛС — от параметрических усилителей до влияния случайно-неоднородных сред на распространение радиоволн — были привлечены сильнейшие радиофизики во главе с С.М. Рытовым. Как подтвердилось в дальнейшем, выбор метрового диапазона радиоволн для локации малоразмерных целей на сверхбольшой дальности оказался решающим.

Работа РЛС по целям с большими скоростями (ракеты, спутники) при больших размерах антенны требовала применения электронного сканирования. А.Л. Минцем еще в 1935 г. были определены методы фазового управления передатчиками для электронного сканирования

сверхмощного радиоизлучения антенн. Это явилось основой для разработки в РТИ совместно с Л.Д. Бахрахом рупорных антенн с частотно-фазовым сканированием.

Гигантские энергии излучаемых сигналов, требующиеся для РЛС сверхдальнего действия, не могли быть реализованы в коротких импульсах, с которыми работали РЛС того времени. Применение же сигналов большой длительности не обеспечивало необходимую точность измерения дальности. Требовались принципиально новые формы радиолокационных сигналов с малой пиковой мощностью, но с хорошим разрешением по дальности. Лучшие отечественные и зарубежные учёные искали решение этой проблемы, среди них были и научные работники РТИ. Формировалась отечественная научная школа профессора Я.Д. Ширмана.

А.Л. Минцем и его сотрудниками выбор был сделан в пользу малоизученных в то время фазокодо-манипулированных сигналов, обладавших характеристиками, близкими к характеристикам оптимальных сигналов с высоким разрешением как по дальности, так и по скорости. Почти полувековая история подтвердила правильность этого выбора, особенно в условиях использования высоких цифровых технологий в наши дни.

На основе результатов проведенных исследований под руководством А.Л. Минца были построены первые полигонные образцы будущих РЛС сверхдальнего действия, а именно станции метрового диапазона ЦСО-П (1961 г.) и дециметрового диапазона ЦСО-С (1963 г.) На базе первой из них были затем созданы РЛС «Днестр» (1967 г.) и «Днестр-М» (1969 г.), которые благодаря достигнутым характеристикам стали первыми суперРЛС СДО систем СПРН и СККП.

РЛС «Днестр» и «Днестр-М» были полностью автоматизированы, управлялись ЭВМ (на РЛС «Днестр» — ЭВМ 5Э71, а на РЛС «Днестр-М» — более мощная ЭВМ 5Э72). С помощью ЭВМ вычислялись также все параметры ИСЗ, которые передавались на командный пункт. По сравнению с РЛС «Днестр» в станции «Днестр-М», кроме высокопроизводительной ЭВМ и целого ряда аппаратуры на новейшей элементной базе того времени, использовался более длинный излучаемый сигнал — 800 мкс вместо 200 мкс. Для повышения точности измерения дальности производилась фазовая манипуляция сигнала 127-значной М-последовательностью с длительностью дискрета 6,25 мкс. В РЛС «Днестр» при дроблении сигнала до 100 мкс точность и разрешающая способность РЛС «Днестр-М» повысились в 16 раз.

В РЛС «Днестр» в угломестной плоскости применялся фазовый метод измерения угла, а в азимутальной — амплитудный, путём дробления излучаемого импульса на два подимпульса с изменением их несущей частоты. В РЛС «Днестр-М» в угломестной плоскости также применялся фазовый метод измерения угла, а пеленгация цели в азимутальной плоскости производилась разработанным в РТИ новым методом, суть которого заключалась в согласовании полосы зондирующего сигнала и «мгновенной» полосы антенны. Была выбрана оптимальная длительность дискрета ФМ — 6,25 мкс.

К числу научно-технических достижений при создании РЛС «Днестр-М» следует также отнести разработку и внедрение параметрических усилителей метрового диапазона волн, позволивших вдвое снизить шумовую температуру приёмного устройства — с 400 до 200К.

Первые РЛС «Днепр» и «Днепр-М» были предназначены для применения в системе истребления спутников ИС. Испытание системы ИС, в том числе и радиолокационной системы в составе двух узлов ОС-1 и ОС-2, было успешно завершено в 1970 г., и она была поставлена на боевое дежурство. Созданная система радиолокационного поля протяженностью 3–5 тыс. км на базе двух узлов ОС-1 и ОС-2 с командными пунктами, на одном из которых (ОС-1) велся каталог спутников, представляла прообраз современной системы ККП.

Дальнейшее совершенствование РЛС «Днепр-М» привело к созданию новой РЛС «Днепр», тактико-технические характеристики (ТТХ) которой существенно превысили ТТХ своей предшественницы.



Рис. 3
РЛС «Днепр»

Основные особенности станций «Днепр» — более совершенные методы обработки сигналов. В частности, на базе спецвычислителей было дополнительно введено когерентное накопление пачек импульсов (до 32), что существенно повысило потенциал станции и её точность. Было также усовершенствовано управление диаграммой направленности антенны в угломестной плоскости, расширен сектор обзора по азимуту и повышена помехозащищённость. Для существенного повышения надёжности произведена замена элементной базы на новую, в то время транзисторную, электронику.

Конструктивно РЛС «Днепр» состоит из двух секторных РЛС, каждая из которых имеет антенну в виде сдвоенного рупора (250×12 м в раскрыве), возбуждаемого двумя рядами щелевых излучателей, расположенных на двух волноводах. Комплект приёмопередающей аппаратуры, подключенный к паре волноводов одного конца антенны (радиолокационный канал), состоит из двух передатчиков и линейки приёмоиндикационной аппаратуры, обеспечивающей частотно-фазовое управление диаграммой направленности в секторе $30^\circ \times 30^\circ$ (по азимуту и углу места соответственно).

Четыре комплекта приёмопередающей аппаратуры обеспечивают работу РЛС в секторе 120° . По углу места РЛС работает в интервале от 5° до 35° .

Для измерения координат положения целей и их производных в РЛС «Днепр» используются сложные пачечные когерентные сигналы. Управление аппаратурой РЛС, обработка радиолокационной информации, информационный обмен с командным пунктом и функциональный контроль аппаратуры РЛС производятся в автоматическом режиме с помощью вычислительного комплекса электронных управляющих машин.

РЛС «Днепр» составили основу радиолокационных узлов, созданных в 1968–1972 гг. для обеспечения сплошного поля надгоризонтного обнаружения на основных ракетоопасных направлениях. Две РЛС «Днепр» (в Мурманске и Иркутске) были сооружены на базе действующих РЛС «Днепр-М», а четыре РЛС «Днепр» были созданы заново — на Балхаше, в Иркутске, Севастополе и Мукачево.

К первому поколению суперРЛС РКО также следует отнести станции «Дунай-2» и «Дунай-3М», созданные НИИДАР.

При создании второго поколения суперРЛС РКО (1970–1990 гг.) использовались предельные возможности СВЧ-вакуумной электроники, крупномодульные конструкции для создания первых отечественных АФАР, высокопроизводительные ЭВМ «Эльбрус» и первые системы цифровой обработки сигналов. Это позволило создать для замкнутого поля СПРН, системы ПРО и развивающейся СККП суперРЛС с рекордными показателями мирового уровня. Такими суперРЛС стали радиолокационные станции «Дарьял» и «Дон-2Н».

Суперрадар «Дарьял» по своему потенциалу намного превосходит зарубежные радары аналогичного назначения. Впервые в отечественной и мировой практике были созданы столь мощные и большие по размерам АФАР, с помощью которых обеспечивается обнаружение космических объектов с ЭПР $\cong 0,1 \text{ м}^2$ на дальностях более 6000 км. Изделие «Дарьял» до сих пор остается самой мощной радиолокационной станцией метрового диапазона в мире. Это единственный радиолокатор, способный обнаруживать высокоорбитальные космические объекты вплоть до геостационарных орбит.



Рис. 4
РЛС «Дарьял»

Для информационного обеспечения системы Центрального региона ПРО требовалось дальнейшее развитие суперрадаров с использованием более высокочастотных диапазонов радиоволн, крупноапертурных АФАР и цифровой обработки сигналов, что обеспечивало достижение требуемой точности, пропускной способности и гибкости управления.

Эти задачи были успешно решены в многофункциональной суперРЛС (МРЛС) «Дон-2Н», являющейся сейчас основным информационным средством в составе систем обороны Центрального региона. Благодаря наличию системы параллельной цифровой обработки сигналов и гибкой структуре управления эта МРЛС отличается высокой пропускной способностью и широким набором зондирующих сигналов, обеспечивающих эффективную работу в различных условиях обстановки по широкому классу целей. В передающей активной крупномодульной АФАР реализованы предельно допустимые энергетические плотности излучения (средняя мощность излучения составляет 30 кВт на 1 м²).



Рис. 5
МРЛС «Дон-2Н»

МРЛС «Дон-2Н» предназначена для обнаружения баллистических целей, их сопровождения, измерения координат, анализа состава сложных целей и их распознавания. Она способна одновременно сопровождать в автоматическом режиме до 100 элементов СБЦ, осуществляя высокоточное информационное обеспечение различных систем РКО.

МРЛС «Дон-2Н» представляет собой четырехгранный радиолокатор в виде усеченной пирамиды высотой 33 м, длиной сторон 130 м у основания с неподвижными АФАР диаметром 18 м в каждой грани, что обеспечивает зону обзора во всей верхней полусфере. Число управляемых излучателей в четырехгранной АФАР достигает более 250 тысяч, т. е. в сотни раз больше, чем в ранее созданных РЛС «Дарьял». Работа в сантиметровом диапазоне волн при указанных размерах ФАР обеспечивает формирование предельно узких лучей диаграммы направленности. Это позволяет получить высокие характеристики разрешения и точности по угловым координатам. Для достижения высокой надёжности в условиях непрерывного дежурства станция имеет крупномодульную структуру с автоматической заменой модулей. В МРЛС реализованы высокопроиз-

водительный спецвычислитель цифровой обработки радиолокационных сигналов в реальном масштабе времени и управляющий высокопроизводительный многопроцессорный вычислительный комплекс на базе МК «Эльбрус-2», в которых была использована самая современная отечественная цифровычислительная электроника того времени.

МРЛС «Дон-2Н» обладает сложным программно-алгоритмическим обеспечением, прошедшим успешную отработку на полигоне по реальным пускам БР.

В одном из совместных с США экспериментов по исследованию возможности наблюдения малоразмерных космических объектов (так называемого «космического мусора») МРЛС «Дон-2Н» успешно сопровождала запущенные шары диаметром 5 и 10 см на дальностях 1500–2000 км. Создание суперРЛС «Дон-2Н», безусловно, является научно-техническим и производственным достижением мирового радиостроения. Эта МРЛС безупречно обеспечивает боевое дежурство стратегических систем РКО нашей страны в настоящее время.

Третье поколение (1990–2010 гг.) суперРЛС, обеспечившее быструю реконфигурацию отечественной СПРН, представлено станциями «Волга», «Воронеж-М», «Воронеж-ДМ».

При определении облика РЛС «Волга» был предложен оригинальный замысел ее структуры и построения. Впервые в отечественной промышленности станция проектировалась в твёрдотельном исполнении с широким применением цифровой микроэлектроники. При строительстве ее технологических сооружений также впервые использовались крупные объёмно-конструктивные модули промышленного производства, обеспечивавшие значительное сокращение сроков выполнения строительно-монтажных работ. Важной особенностью реализации этого проекта был отказ от строительства дорогостоящего полигонного образца РЛС, на котором проверялись бы принятые технические и конструктивные решения и вносились соответствующие корректировки.

Такой подход к созданию РЛС, по сути, представлял собой начальный этап внедрения технологии высокой заводской готовности по разработке и вводу в строй сложных и наукоёмких объектов РКО, столь необходимых России в современных геополитических условиях.

В РЛС ВЗГ использованы новые энергосберегающие решения, базирующиеся на передовой твёрдотельной микрорадиоэлектронике СВЧ и новейшей цифровычислительной технике, реализующей адаптивные алгоритмы управления и принципы параллельной обработки информации. Эти решения позволили сократить энергетiku для радиолокаторов сверхдальнего обнаружения в десятки раз, что дало возможность перейти к системам воздушного охлаждения передатчиков и легким компактным контейнерным конструкциям сложных аппаратурных комплексов.

Контейнерное исполнение и высокая заводская готовность комплексов обеспечивает быстрое развёртывание и ввод суперрадаров ВЗГ на объектах без больших строительных работ. Отсутствие сложных систем жидкостного охлаждения, присущих радарам прошлого поколения «Дарьял», «Дон-2Н», а также высокий уровень автоматизации контроля позволяет существенно уменьшить ресурсы в обслуживании и снизить эксплуатационные расходы.

Первый головной образец суперРЛС ВЗГ в метровом диапазоне волн «Воронеж-М» введен на объекте в Лехтуси.



Рис. 6
РЛС «Воронеж-М»

Второй образец в дециметровом диапазоне волн «Воронеж-ДМ» заступил на опытно-боевое дежурство на объекте в Армавире.



Рис. 7
РЛС «Воронеж-ДМ»

Открытая контейнерно-модульная архитектура станций ВЗГ позволяет наращивать их тактико-технические характеристики и совершенствовать их аппаратно-программные компоненты в процессе эксплуатации без снятия с боевого дежурства. Все это позволяет не только осуществлять реализацию повышенных требований при развитии информационной структуры РКО, но и обеспечивать сверхдлительные жизненные циклы средств нового поколения.

Для четвертого поколения суперРЛС СДО можно наметить следующие направления развития этих средств.

Первое направление — это модернизация суперРЛС предшествующих поколений. РЛС «Дарьял», «Дон-2Н», «Волга» и РЛС ВЗГ «Воронеж»

имеют фундаментальную радиолокационно-техническую основу, обеспечивающую перспективность этих изделий.

Вместе с тем, достижения бурно развивающейся перспективной СВЧ-микросхемотехники, цифровой и вычислительной техники позволяют радикально улучшить не только эксплуатационные характеристики этих изделий, но и обеспечить существенное повышение их информационных характеристик и улучшить помехозащищённость этих изделий, что является важнейшим требованием развития систем информационного обеспечения РКО в условиях договора СНВ-3.

Второе направление работ определяет дальнейшее развитие технологий суперРАС СДО в перебазируемые конструкции для обеспечения гибкой трансформации конфигурации систем РКО в направлениях повышенных угроз и повышении живучести систем при эскалации военных конфликтов с применением высокоточного оружия. При создании перебазируемых суперРАС ВЗГ нового поколения будут использоваться новейшие технологии совмещенных крупноапертурных двухдиапазонных цифровых АФАР с радиооптической разводкой сигналов, радикально сокращающие высогабаритные показатели изделий.

Для перебазируемых конструкций сегодня ведётся отработка технологий реализации размерно-стабильных сверхлёгких фермерных узлов на базе композитных наноматериалов.

Конструктивный облик таких изделий приведен на **рис. 8**.

Третье направление развития связано с использованием межпозиционной сигнально-информационной обработкой данных комплексной группы суперРАС, что позволяет существенно повысить точность первичных измерений и помехозащищённость при решении многих задач систем РКО.

Таким образом, в настоящее время новые, постоянно совершенствующиеся средства воздушно-космического нападения выдвигают всё более высокие требования к организации предупреждения о ракетном, воздушном и космическом нападении и к информационному обеспечению оборонительных и наступательных действий Вооруженных сил России. Эти требования уже выходят за рамки задач существующих

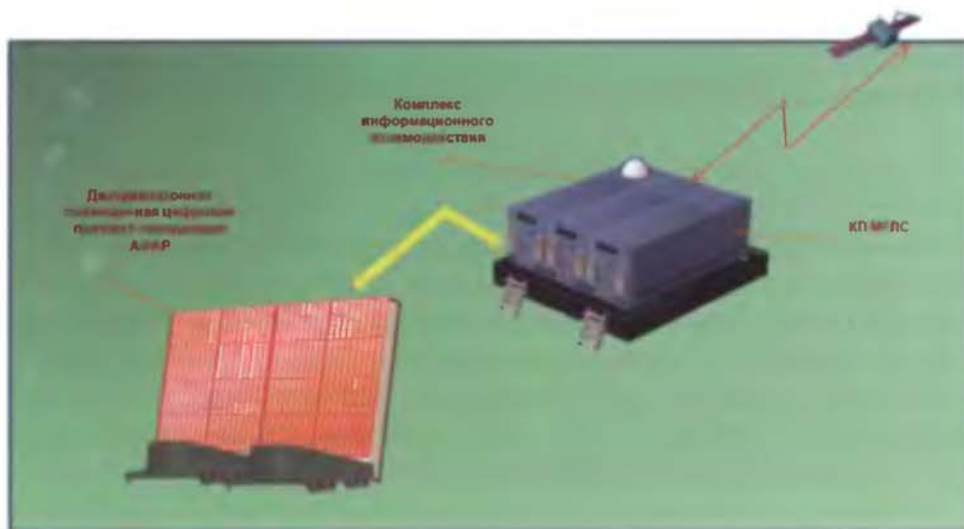


Рис. 8
Облик перебазируемой суперРАС ВЗГ

систем РКО в их классическом виде и могут быть решены за счёт наращивания эффективности и комплексного применения разнотипных информационных средств в составе интегрированной системы воздушно-космической обороны.

Исходя из этой посылки, коллективы предприятий ОАО «Концерн «РТИ Системы» стремятся сегодня создать прочный научный и технологический задел на перспективу. В ходе выполнения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, ведущихся в рамках государственного оборонного заказа, исследуются возможные направления дальнейшего совершенствования информационных средств, определяются структура и принципы построения будущих радиотехнических систем военного и гражданского назначения с использованием последних достижений науки и техники, нового поколения современной электронно-компонентной базы и материалов, вычислительной техники и информационных технологий.



САПРЫКИН С.Д.,
генеральный конструктор
ОАО «НПК «НИИДАР», кан-
дидат технических наук



ЕВСТРОПОВ Г.А.,
ведущий специалист
ОАО «НПК «НИИДАР»,
кандидат технических
наук

СТАНЦИИ ДАЛЬНОГО ОБНАРУЖЕНИЯ НИИ ДАЛЬНЕЙ РАДИОСВЯЗИ. ИСТОРИЯ, ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ, ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

В связи с созданием в 1950-х гг. и принятием на вооружение в ряде стран баллистических ракет (БР) с малоразмерными боеголовками и освоением космического пространства в целях самообороны появилась необходимость создания радиолокационных станций (РЛС) дальнего обнаружения БР и контроля космического пространства. Имевшиеся в то время РЛС ПВО, использовавшие зеркальные антенны со сравнительно небольшой площадью раскрыва и механическим перемещением диаграммы направленности (ДН) антенны для обзора пространства (последовательный обзор), оказались непригодными для работы по новым целям. Потребовались антенны с большей поверхностью раскрыва, большей скоростью обзора пространства, что возможно при электрическом качании ДН с параллельно-последовательным обзором или при параллельном обзоре заданного телесного угла пространства.

В 1950–1960-е гг. технология изготовления фазовращателей для фазированных антенных решёток (ФАР) ещё не была достаточно отработана, но были освоены методы качания луча посредством изменения частоты в линейных антенных решётках бегущей волны. В связи с этим в первых станциях дальнего обнаружения баллистических ракет использованы активные антенные решётки из линейных излучателей бегущей волны с параллельно-последовательным обзором пространства. Станции с такими антеннами обеспечивают требуемую скорость обзора пространства и заданные дальности обнаружения целей. По завершении создания ряда РЛС, использующих антенны с частотным качанием ДН, появилась возможность применения в них фазированных антенных решёток с полностью фазовым качанием ДН посредством дискретных

коммутационных фазовращателей. Дальнейшее развитие техники радиолокации связано с разработкой РЛС с цифровым методом формирования ДН на приём и параллельно-последовательном, а при работе по перспективным целям — с параллельным обзором пространства.

Радиолокационные станции типа «Дунай»

В станциях типа «Дунай» используется принцип непрерывного излучения и частотно-фазовый метод качания диаграмм направленности антенн по азимуту и фазовый — по углу места. Особенностью РЛС непрерывного излучения является одновременное излучение и приём станцией отражённых от целей колебаний. Использование принципа непрерывного излучения требует весьма малой связи (большой развязки) между передающим и приёмным каналами РЛС. При используемых в РЛС дальнего обнаружения мощностях излучения и чувствительностях приёмного тракта достижение требуемой развязки наиболее просто достигается при разнесении приёмной и передающей антенн. Поэтому РЛС непрерывного излучения обычно размещаются на двух позициях: приёмной и передающей.

Для обеспечения качания ДН в азимутальной плоскости путём изменения частоты антенные решётки такой станции состоят из линейных излучателей, выполненных на линиях передачи (волноводах) с повышенной зависимостью фазовой скорости от частоты, что обеспечивает широкий сектор качания ДН в плоскости, проходящей через ось волновода при небольшом диапазоне изменения частоты. Обычно используется изменение частоты по линейному закону, т. е. линейная частотная модуляция.

Из линейных излучателей строится обычно активная фазированная антенная решётка, т. е. на входе каждого линейного излучателя устанавливаются усилитель мощности и фазовращатель, обеспечивающий качание ДН в поперечной к волноводам плоскости.

Схема передающей антенны, размещаемой на передающей позиции, без усилителей мощности приведена на **рис. 1**.

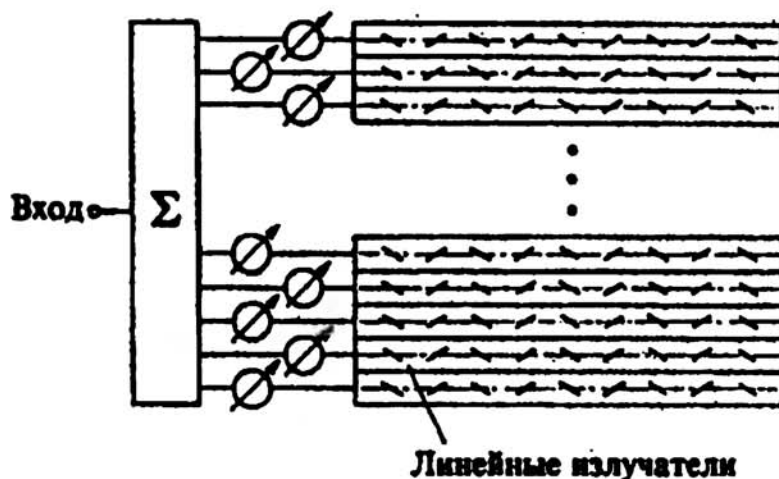


Рис. 1
Схема передающей антенны

Приёмная аппаратура РЛС располагается на приёмной позиции. В приёмной антенне используются такие же линейные излучатели, как и в передающей. Число линейных излучателей в поперечной плоскости определяется требуемой шириной ДН на приём. На выходе каждого излучателя обычно устанавливается малошумящий усилитель. Формирование и качание ДН в поперечной плоскости осуществляется с помощью фазовращателей и сумматоров или плоской (цилиндрической) линзы. Приёмная антенна, таким образом, представляет собой активную ФАР из линейных излучателей. Схема приёмной антенны приведена на **рис. 2**.

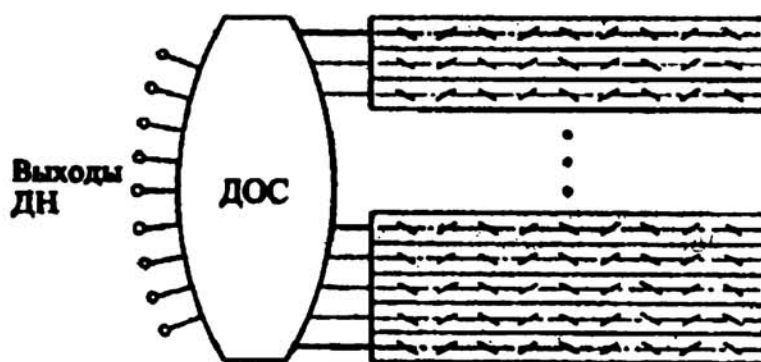


Рис. 2
Схема приемной антенны

В НИИДАР был создан ряд экспериментальных и боевых РЛС непрерывного излучения с частотно-фазовым качанием диаграмм направленности: «Дунай-1», «Дунай-2», «Дунай-3», «Дунай-ЗУП», «Дунай-ЗУ». В настоящее время ведутся работы по созданию станции «Дунай-ЗУМ» путём модернизации СРЛС «Дунай-ЗУ» в соответствии утверждённым ТТЗ.

Станции «Дунай-3», Дунай-ЗУП» и «Дунай-ЗУ» — секторные станции. У них отсутствует разделение режимов на обнаружение и сопровождение, что обеспечивает их высокую пропускную способность, определяемую возможностями вычислительного устройства.

Станции имеют весьма низкий уровень остатков сжатого сигнала, что обусловлено используемым принципом обработки принятых сигналов — в спектральной области. Огибающая отражённого от цели и принятого сигнала пропорциональна произведению ДН на приём и передачу, а преобразование Фурье этого сигнала пропорционально свёртке амплитудных распределений приёмной и передающей антенн, которое равно нулю вне расстояния, равного сумме продольных размеров раскрывов антенн.

Станции работают в длинноволновой части дециметрового диапазона волн, оптимального для РЛС обнаружения баллистических ракет и контроля космического пространства. В этом диапазоне работают все РЛС США аналогичного назначения.

Радиолокационные станции непрерывного излучения имеют в скажность раз меньшую пиковую мощность по сравнению с импульс-

ными станциями, что существенно упрощает их конструкцию. При этом характеристики станций по назначению определяются средней мощностью излучения.

Станции с частотно-фазовым качанием ДН имеют существенно более низкую стоимость, чем РЛС с фазо-фазовым качанием ДН с аналогичными характеристиками.

Радиолокационная станция «Дунай-1»

Первая станция из ряда РЛС «Дунай» — «Дунай-1» (главный конструктор В.П. Сосульников) — была предназначена для проверки принципа работы станций, отличительной особенностью которого является способ определения дальности: величиной разности частот излучаемого в данный момент и принимаемого сигналов при непрерывном излучении. Ранее такой принцип определения дальности использовался в самолётных высотомерах. Результаты экспериментальных проверок подтвердили возможность измерения дальности в наземных радиолокаторах с достаточной для средств ПРО точностью.

Радиолокационная станция «Дунай-2»

Следующая станция — «Дунай-2» (главный конструктор В.П. Сосульников), созданная на полигоне 10 ГПИ МО СССР, — входила в экспериментальную систему противоракетной обороны «А», была предназначена для дальнего обнаружения баллистических ракет и передачи информации боевым комплексам с целью поражения атакующих ракет при экспериментальной отработке системы ПРО. С участием станции 4 марта 1961 г. экспериментальной системой ПРО «А» было произведено первое в мире поражение баллистической ракеты.

Станция размещалась на двух позициях. Передающая позиция состояла из двух линейных излучателей, облучающих цилиндрическое параболическое зеркало, двух передатчиков и аппаратуры формирования излучаемых и других сигналов.

Антенная система приёмной позиции состояла из двух цилиндрических зеркал, аналогичных зеркалу передающей позиции и облучаемых двумя линейными излучателями каждое. Качание ДН по азимуту осуществлялось путём изменения частоты. Азимутальная координата измерялась с помощью равносигнальной зоны, образуемой непрерывным движением ДН по азимуту при линейном изменении частоты излучаемого сигнала. Угол места цели измерялся амплитудным (суммарная и разностная диаграммы) и фазовым методами. Наличие двух линейных облучателей у каждого зеркала позволяло перемещать ДН по углу места при возбуждении разных линейных излучателей. Сектор качания ДН по азимуту составлял около 9° при девиации частоты 6 МГц. Для обеспечения такого сектора качания линейный облучатель был выполнен на ребристом волноводе, имеющем повышенную зависимость фазовой скорости от частоты. Длина антенны равнялась 150 м. Станция работала в диапазоне частот 200–206 МГц.



Рис.3
Приемная позиция РЛС «Дунай-2»
(вид 1)



Рис.4
Приемная позиция РЛС «Дунай-2»
(вид 2)

В здании, примыкающем к антенной системе приёмной позиции, размещался комплекс аппаратуры обнаружения, захвата и автоматического сопровождения целей, пульт управления и индикаторное устройство станции.

Общий вид приёмной позиции станции представлен на **рис. 3 и 4**.

Глубина канавок на средней частоте равна половине длины волны в волноводе. Энергия из ребристого волновода излучалась через продольные щели.

Радиолокационная станция «Дунай-3»

В связи с появлением баллистических ракет и по результатам предварительных испытаний экспериментальной системы «А» правительством СССР были приняты меры по созданию элементов ПРО Московского промышленного района. 4 мая 1960 г. было принято распоряжение Совмина СССР о разработке и создании опытных средств дальнего обнаружения баллистических и крылатых ракет и искусственных спутников Земли [1]. Радиолокационные комплексы (РЛК) предполагалось разместить в окрестностях Истры, Солнечногорска, Софрино, Черноголовки, Раменского, Бронниц, Чехова и Кубинки. Это означало создание замкнутого (кругового) радиолокационного поля дальнего обнаружения вокруг Москвы. Комплексы предполагалось оснастить радиолокационными станциями «Дунай-3» разработки НИИДАР. Первоочередные РЛК должны были быть созданы в Кубинке и Чехове.

Практически были созданы только РЛК в Кубинке и Чехове, по две РЛС в каждом комплексе — «Дунай-3 и «Дунай-3У» соответственно. РЛК контролировали сектор 200 угловых градусов по азимуту. Создание следующих РЛК было приостановлено. В результате задача создания ЦКРЛП не была решена. Следует отметить, что незавершённость замкнутого центрального радиолокационного поля дальнего обнаружения БР вокруг Москвы создаёт проблемы по обороноспособности страны до настоящего времени.

От новых станций требовались значительно более высокие характеристики по дальности и зоне действия по угловым координатам. Для этого было необходимо увеличить площадь приёмной антенны и сред-

нюю излучаемую мощность. Поэтому было принято решение о замене зеркальных антенн решётками из линейных излучателей, по принципу работы аналогичных линейным излучателям, ранее использовавшимся как линейные облучатели зеркальных антенн. В результате на передачу была полностью реализована схема, приведённая на **рис. 1**, а на приём — на **рис. 2**.

Излучатели выполнены на ребристом волноводе (**рис. 5**). Глубина канавок на средней частоте равна половине длины волны в волноводе. При уменьшении частоты от среднего значения ребристый волновод работает в режиме ускорения, а при увеличении частоты — в режиме замедления по отношению к фазовой скорости волны в волноводе без ребер. Энергия из ребристого волновода излучается через продольные щели.

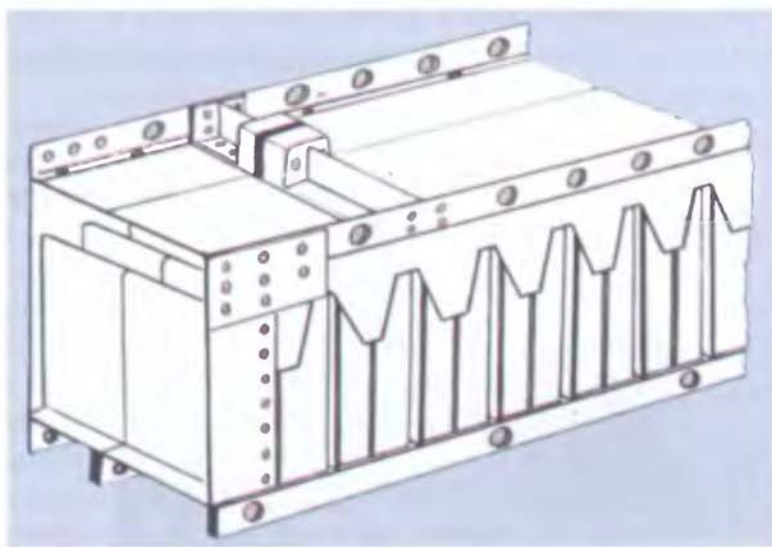


Рис.5
Ребристый волновод

Длина активной части волновода составляет примерно 100 м. Групповое замедление волны в волноводе $\gamma_{гр} = 10$. Размер широкой стенки волновода равен $0,66 \lambda_{ср}$. Потери в волноводе без излучателей не превышают 3 дБ на 100 м. Для линейного излучателя произведение КИП \times КПД = 0,65 на средней частоте. Пропускаемая мощность в режиме непрерывного излучения — не менее 100 кВт. Ребристый волновод изготовлен из биметалла (прокат: медь, алюминий), элементы волновода соединены между собой методом пайки. Волновод разрезан по средней (нейтральной) линии.

Линейные излучатели в этих схемах образуют антенные полотна. На передачу были использованы две антенны, каждая из которых обслуживала половину заданного (48°) сектора по азимуту. Передающее антенное полотно этих антенн состояло из 13 линейных излучателей, приёмное — из 200. Площадь приёмного полотна равнялась 10000 кв. м, т. е. 1 га. В линейных излучателях были использованы продольные щели, дающие линейную поляризацию. Для превращения линейной поляризации во вращающуюся применён фильтр-укрытие, содержащий наклонные (45°) металлические пластины по отношению к излучаемому вектору электрического поля. Для обеспечения сектора качания ДН по азимуту 48° девиация частоты равнялась 36 МГц.

Обзор заданного телесного угла пространства радиолокационной станцией проводился по типу телевизионного раstra построчно путём непрерывного движения ДН по азимуту. На приём при этом формировался веер ДН по углу места, перекрывающий ДН передающей антенны. Сектор обзора по азимуту и углу места составлял 48° .

Принимаемые системой ДН отражённые от целей сигналы поступали на многоканальное приёмное устройство. После преобразования по частоте и снятия линейной частотной модуляции сигналы поступали на спектроанализаторы, образующие фильтровое поле, которое обеспечивало измерение положения цели по угловым координатам и дальности. Сигналы с цифрового поля поступали на пороговую обработку и в случае преодоления порога оцифровывались и поступали на вычислительный комплекс для дальнейшей цифровой обработки.



Рис.6
Приемная позиция СРЛС «Дунай-3»

Приёмная позиция двояной СРЛС «Дунай-3» приведена на рис. 6. Две приёмные антенны станции объединены в металлоконструкцию в форме двухскатного шалаша. Плоские линзы расположены с внутренней части шалаша, что обеспечило компактность и изящность конструкции. Приёмная аппаратура и вычислительный комплекс станции расположены в рядом стоящем здании. Как уже отмечалось, на металлоконструкции и в здании размещены две РЛС с зеркально ориентированными угловыми секторами.

Две станции «Дунай-3» дислоцировались на объекте в районе г. Кубинка. Обе станции были выведены из строя из-за пожара, возникшего на приёмной позиции. В 1994 г. был разработан эскизный проект модернизации СРЛС «Дунай-3», предусматривавший не только восстановление работоспособности, но и существенное повышение характеристик станции. В перспективе при модернизации двух РЛС, дислоцированных в районе г. Чехова, предполагалось создать круговое радиолокационное поле для обеспечения защиты Московского промышленного района. Однако этот эскизный проект не был реализован, а РЛС «Дунай-3» — утилизирована.

Радиолокационная станция «Дунай-3У»

Дальнейшее развитие принципов построения РЛС непрерывного излучения с фазо-частотным методом обзора пространства нашло в радиолокационной станции «Дунай-3У» (главный конструктор А.Н. Мусатов).

В РЛС «Дунай-3У» сохранены основные принципы построения секторной РЛС дальнего обнаружения, заложенные в РЛС «Дунай-3». Однако стремительное развитие радиозлектроники, вычислительной и антенной техники привело к возможности применить в РЛС «Дунай-3У» ряд новых технических решений, приводящих к получению ранее недостижимых тактико-технических и эксплуатационных характеристик. Основные из них:

- ✓ По антенным устройствам:

- в линейных излучателях применены гантельные согласованные наклонно-смещённые щели (**рис. 7**), обеспечивающие стабильное амплитудно-фазовое распределение в раскрыве линейных излучателей в диапазоне частот и компенсацию эффекта нормали;
- в конструкцию антенных полотен введены конструктивные эле-

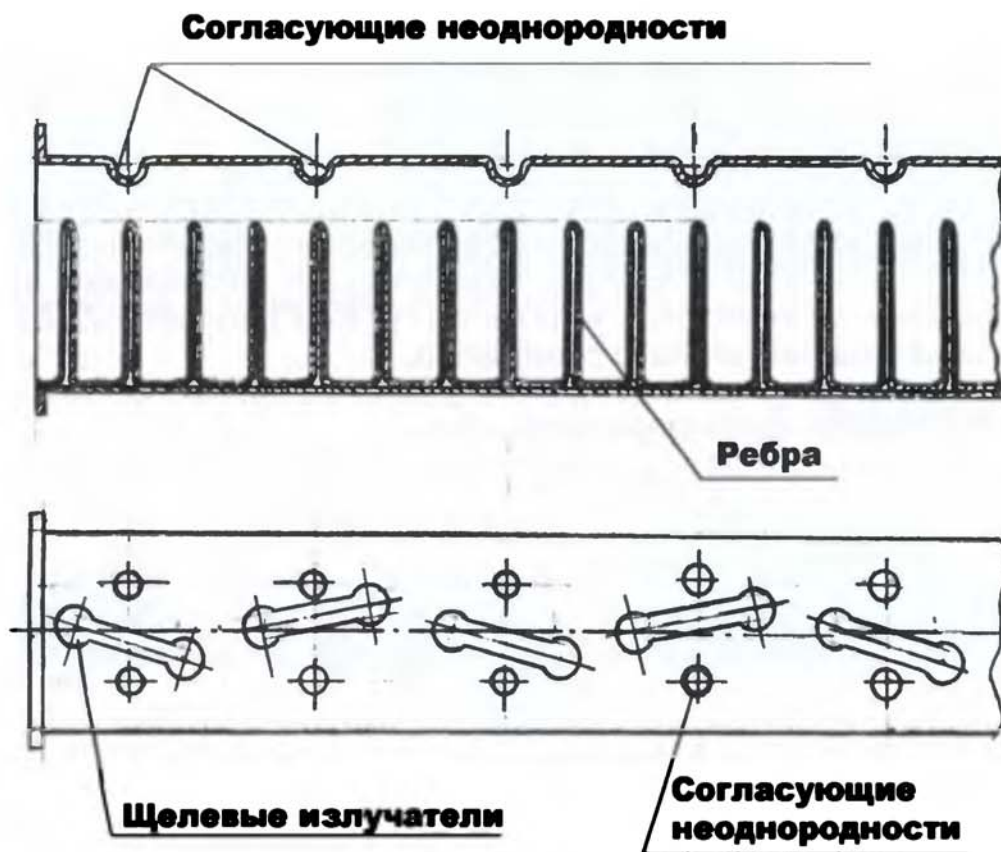


Рис.7
Щели и согласующие неоднородности
в ребристом волноводе

- менты, уменьшающие связь между линейными излучателями и обеспечивающие таким образом формирование качественных ДН в зоне работы станции;
- применены оконечные нагрузки линейного излучателя в виде отрезка ребристого волновода с наклеенными на стенках канавок ферритовыми пластинами. Срок службы таких нагрузок не ограничен, обслуживание при эксплуатации не требуется;
 - применены неотражающие распорные элементы между плоскими поверхностями линзы, а боковые панели выполнены по типу беззеховых камер, что обеспечило качественное формирование ДН приёмной антенны в угломестной плоскости с низким уровнем боковых лепестков;
 - введены малозумящие усилители между выходами линейных излучателей и линзой, что дало возможность получить достаточно низкую температуру шумов приёмного тракта.
- ✓ По передающему устройству:

- многоканальное передающее устройство РЛС выполнено на лампах бегущей волны «Весна». Лампы разработаны НПО «Титан» (ныне «Торий»), обладают весьма высокими техническими и эксплуатационными характеристиками, перекрывают весь требуемый для станции частотный диапазон, аналогов за рубежом не имеют;
- в качестве высоковольтных источников питания для ЛБВ применены кварцевые выпрямители — трансформаторы, располагаемые на открытой площадке;
- фидерный тракт передающей антенны выполнен на полых прямоугольных волноводах.
- ✓ По приёмному и вычислительному устройствам:
 - введён волноводный гетеродинный тракт, соединяющий передающую и приёмную позиции для передачи удлинённого излучаемого сигнала на приёмное устройство для обеспечения синхронизации передающего устройства по СВЧ сигналу и упрощения формирования сигнала гетеродина;
 - в приёмном устройстве при спектральной обработке сигнала использованы кварцевые резонаторы;
 - в вычислительном комплексе станции в НИИДАР была разработана высокопроизводительная (по тем временам) ЭВМ К-340, работающая в остаточных классах.
- ✓ По программно-алгоритмическому обеспечению:
 - для обеспечения высокой пропускной способности в РЛС реализована система массового обслуживания целей, которая состоит:
 - из канала обнаружения активных шумовых помех, пассивных помех и сложных баллистических целей (грубый канал);
 - канала обнаружения и сопровождения одиночных целей и разрешённых элементов СБЦ (точный канал);
 - канала точной пеленгации угловых координат источников помех и точного измерения координат одиночных целей.

Каждый канал имеет свой алгоритм обработки информации.

Для проверки и отработки новых технических решений был создан полигонный образец станции «Дунай-ЗУП» (главный конструктор А.Н. Мусатов). Станция имела структуру, приведённую на **рис. 8**.

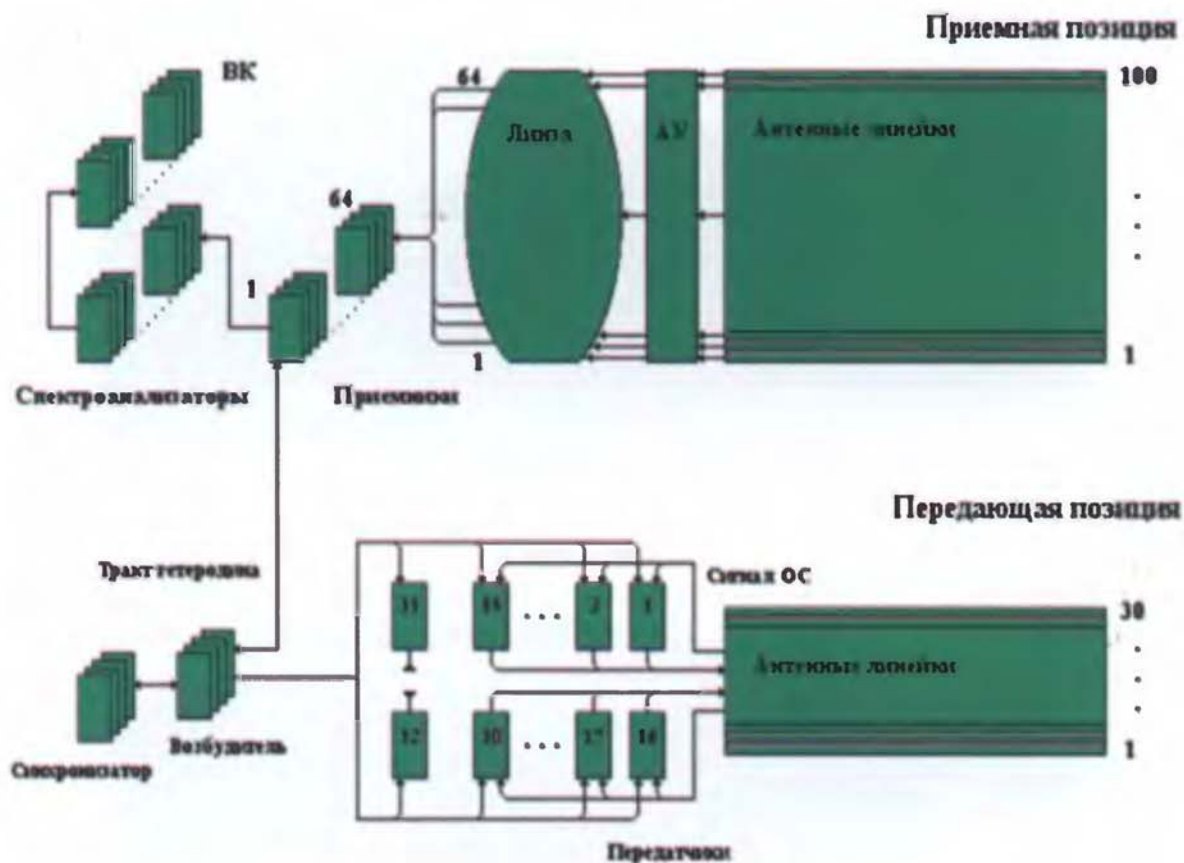
Количество линейных излучателей в передающей антенне было 26, в приёмной — 52. В станции были использованы ребристые волноводы с глубиной канавок меньше четверти длины волны в волноводе.

Строительство, монтаж, настройка и испытания станции закончились в 1972 г. Помимо отработки новых решений и программного обеспечения станция участвовала в отработке средств РКО.

Общий вид приёмной позиции РЛС приведён на **рис. 9**. К настоящему времени станция, оказавшаяся на территории другого государства, утилизирована.

Станция «Дунай-ЗУ» создавалась параллельно с полигонным образцом с некоторым запаздыванием. Эскизный проект был разработан и защищён в 1967 г. Две станции были построены на объекте в районе г. Чехова. В 1974 г. начались испытания первой станции по реальным целям.

Структура РЛС "Дунай-3У"



Состав аппаратуры

- | | |
|---------------------------|---|
| Приемная позиция | <ol style="list-style-type: none"> 1. Приемное АФУ - К21А 2. Приемное устройство - К31Р 3. Центральный вычислитель - К34А 4. Устройство отображения информации, целеуказания и записи регистрации - К32В 5. Устройство точного измерения координат - К33И 6. Устройство формирования сигнала первого гетеродина - К24В 7. Система автоматического управления - К34В 8. Устройство преобразования сигналов технического состояния и управления аппаратурой приемной позиции - К32Б 9. Устройство синхронизации - К24С |
| Передающая позиция | <ol style="list-style-type: none"> 1. Передающее АФУ - К21Ф 2. Передающее устройство - К22П 3. Устройство формирования импульсных и гетеродиночных сигналов - К24В 4. Устройство синхронизации - К24С 5. Устройство преобразования сигналов технического состояния и управления аппаратурой передающей позиции - К32А 6. Аппаратура внутренней линии передачи данных |
| <p>Всего 450 шкафов</p> | |

Рис.8
Структура РЛС
(всего 1036 шкафов)



Рис.9
Приемная позиция РЛС «Дунай-ЗУП»

В 1978 г. две станции «Дунай-ЗУ» совместно со станциями «Дунай-З» были поставлены на боевое дежурство.

Общий вид передающей позиции станции приведён на **рис. 10**, приёмной — на **рис. 11 и 12**. На фотографиях на заднем плане — фрагменты второй станции.



Рис. 10
Передающая позиция РЛС «Дунай-ЗУ»

Обе СРЛС объекта 0746 прослужили более двух гарантийных сроков и работают до настоящего времени. Как показали проведённые обследования и анализ состояния аппаратуры, ресурс станций может быть продлён путём ремонта существующей аппаратуры и возобновления производства ЛБВ «Весна». При этом не решается ряд других возникших вопросов, в том числе и проблема снижения эксплуатационных расходов.

Продление ресурса СРЛС до 2025–2035 гг. обеспечивается путём модернизации станций в соответствии с утверждённым ТТЗ.

Цели модернизации:

– продление ресурса на срок не менее 20 лет, т. е. до 2030–2040 гг.;

- сокращение эксплуатационных расходов;
- улучшение экологической обстановки в районе дислокации СРЛС;
- повышение тактико-технических характеристик.



Рис.11
Приемная антенна СРЛС «Дунай-3У»



Рис.12
Приемная позиция двух СРЛС «Дунай-3У»

Ожидаемые результаты модернизации

Применение современной элементной базы и методов формирования и обработки сигналов позволяют резко сократить объём аппаратуры станции. Количество аппаратных шкафов уменьшилось почти в 4 раза (с 1036 до 255).

Аппаратура приёмной позиции размещается в существующих контейнерах, смонтированных на антенне, и трёх наземных контейнерах, аппаратура в которых монтируется, настраивается и проверяется на заводе-изготовителе.

Существенно сокращается объём комплекса средств инженерного обеспечения, при этом на приёмной позиции используется только охлаждение воздухом, а на передающей — водой с температурой до 50 °С.

Также предполагается:

- сокращение обслуживающего персонала с 2000 до 200 человек;
- сокращение электропотребления с 19 до 8 МВт на одну станцию;
- сокращение водопотребления из артезианских скважин, а также слива использованной воды, что приведёт к улучшению экологической обстановки в районе дислокации станции;
- увеличение дальности действия станции. Обеспечивается снижением потерь и оптимизацией режима обзора;
- увеличение помехозащищённости. Достигается применением цифрового адаптивного способа формирования ДН;
- расширение сектора обзора.

Увеличение точности определения координат целей обусловлено применением в модернизированной РЛС цифровых методов обработки радиолокационных сигналов и формирования ДН на приём.

Радиолокационная станция дальнего обнаружения «Волга»

После создания станции «Дунай-ЗУ» перед коллективом разработчиков встала задача выбора направлений разработки перспективных РЛС дальнего обнаружения. После анализа достоинств и недостатков разработанных станций был предложен вариант построения, увеличивавший достоинства РЛС типа «Дунай» и не имевший её недостатков. Радиолокационная станция, работавшая на новых принципах и получившая название «Волга», была предложена в 1976 г. Тактико-техническое задание было утверждено в 1979 г., главным конструктором был назначен А.Н. Мусатов, который возглавлял разработку по 1981 г.

Станция «Волга» представляет собой РЛС непрерывного излучения с фазо-фазовым методом качания ДН. Для обеспечения требуемой развязки передающая и приёмная антенны разнесены на расстояние около 3 км.

Передающая антенна представляет собой активную фазированную антенную решётку (АФАР), работающую в длинноволновой части дециметрового диапазона волн. Отличительной особенностью АФАР является использование фазовращателей, обеспечивающих непрерывное изменение фазы (и частоты) излучаемых сигналов в любых пределах с большим диапазоном скоростей. Это позволяет сканировать ДН во время излучения сигнала. Решётка выполнена



Рис. 13
Передающая позиция РЛС «Волга»

из спиральных излучателей и обеспечивает работу РЛС в широком диапазоне частот при качании ДН 120° по азимуту и более 60° по углу места. Раскрыв антенны составляет $36 \times 20 \text{ м}^2$.

Антенна конструктивно совмещена со зданием, где расположена аппаратура передающей позиции РЛС. Решётка окружена четырьмя рядами пассивных излучателей и обрамлением из поглощающих ферритовых материалов. Приёмная антенная решётка также выполнена из спиральных излучателей, имеющих навивку спиралей, противоположную излучателям передающей решётки.

Отличительной особенностью приёмной антенны является применение полного цифрового формирования ДН, предложенного в НИИДАР в 1976 г. При этом сигнал от каждого излучателя после усиления и преобразования по частоте представляется в виде числовых последовательностей, из которых с помощью вычислительных средств формируется управляемая по угловому положению система приёмных ДН. Применение цифрового формирования ДН позволяет более полно реализовать разработанные методы адаптации РЛС к помеховой обстановке.



Рис. 14
Приемная антенна РЛС «Волга»

Раскрыв антенны составляет $36 \times 36 \text{ м}^2$. Антенна по конструкции аналогична передающей антенне. Активная часть раскрыва приёмной антенны, так же как и передающей, окружена четырьмя рядами пассивных излучателей и специальным обрамлением с ферритовым поглотителем.

Для реализации цифрового формирования ДН и обработки радиолокационной информации специалистами НИИДАР были разработаны специализированные вычислительные машины и вычислительные комплексы на их основе. Следует отметить, что после принятия решения об использовании цифрового формирования ДН нВ приём в РЛС «Волга» цифровое формирование ДН используется во всех вновь разрабатываемых станциях ДО.

Время создания станции совпало с большими преобразованиями в стране, что неблагоприятно сказалось на сроках её создания. Радиолокационная станция «Волга» поставлена на боевое дежурство.

Радиолокационные станции дальнего обнаружения «Воронеж-ДМ»

Как показывает анализ сроков изготовления и затрат на создание РЛС дальнего обнаружения, основную часть составляют затраты на антенные комплексы, включающие в свой состав передающие и приёмные модули. Антенные комплексы также приводят к наибольшим эксплуатационным расходам, основную долю которых составляет энергопотребление.

Размещение аппаратуры ранее созданных РЛС требовало много времени в связи со строительством зданий, монтажом и комплексной настройкой аппаратуры на объекте дислокации. Развитие электроники привело к резкому сокращению аппаратуры, основная часть которой входит в состав антенного комплекса и для обеспечения минимальных потерь в дециметровом диапазоне должна распределяться на опорной металлоконструкции антенного комплекса. Передающие и приёмные модули (усилители с фазовращателями), необходимые для их работы вспомогательная аппаратура и система охлаждения размещаются в специальных «антенных» контейнерах полностью заводского изготовления. Излучатели фрагмента решётки, обслуживаемые аппаратурой одного контейнера, могут располагаться на торцевой стенке контейнера.

В аналогичных контейнерах располагается и немногочисленная общестанционная аппаратура. В результате создание РЛС заключается в изготовлении и монтаже металлоконструкции, размещении контейнеров в специально созданных ячейках в металлоконструкции, подключении электропитания к контейнерам и функциональном соединении их между собой.



Рис.15

Принятый вариант построения РЛС «Воронеж-ДМ»

Подход к разработке РЛС как изделий высокой заводской готовности начал формироваться в НИИДАР в конце 1970-х гг. как реакция на трудность организации работ в удалённых местах дислокации и затягивание сроков строительства. Ряд изделий загоризонтной тематики предприятия уже тогда разрабатывался в контейнерном исполнении. На контейнерное исполнение переводилась конструкторская документация средств сантиметрового диапазона. В ходе этих работ на базе разрабо-

ток Миннефтегаза НИИДАР отработал, испытал и передал в серийное производство контейнер (аппаратурный бокс), полностью удовлетворяющий всем требованиям заказчика и имевший ряд модификаций.

Параллельно с переходом на контейнерное исполнение накапливался опыт комплексной сдачи заводских единиц на опытном производстве НИИДАР по согласованным с заказчиком методикам, что существенно уменьшило объёмы объектовых работ и стоимость ОКР в целом.

Технология высокой заводской готовности для создания РЛС ДО была предложена в НИИДАР в 1986 г. при разработке РЛС ДО «Селенга». В настоящее время эта технология используется при создании РЛС «Воронеж-ДМ» (главный конструктор С.Д. Сапрыкин).

Монтажно-настроечные работы на объекте дислокации РЛС при применении технологии ВЗГ сведены к минимуму за счёт высокой степени готовности устройств и автоматизации настройки и контроля функционирования аппаратуры как на заводе-изготовителе, так и на объекте развёртывания. Автоматизация заводского цикла сдачи составных частей РЛС и обеспечение восстановления аппаратуры на этапе эксплуатации обеспечивается унифицированным стендовым оборудованием.

Перспективы развития

Из созданных НИИДАР РЛС ДО «Дунай-2», «Дунай-3» и «Дунай-ЗУП» утилизированы, «Дунай-ЗУ» (СРЛС-61) и РЛС «Волга» находятся на боевом дежурстве, СРЛС-62 — в режиме «выключено», станция «Воронеж-ДМ» — в процессе создания.

В течение многолетнего боевого дежурства радиолокационные станции «Дунай-ЗУ» (СРЛС-61 и СРЛС-62), дислоцированные на объекте 0746, показали высокие тактико-технические характеристики и показатели надёжности.

В процессе дежурства станции обеспечивали и обеспечивают контроль космического пространства в вышеуказанных секторах и обнаруживают корпуса и ББ всех типов вне зависимости от траекторий на дальностях до 4600 км.

Наиболее наглядно возможности станции можно проиллюстрировать вкладом РЛС «Дунай-ЗУ» в решение задач контроля космического пространства. Приведём данные, относящиеся к 1995 г.

Для решения задач контроля космического пространства (ККП) в системе ККП (СККП) России используются 8 радиолокационных узлов (РЛУ), имеющих секторные радиолокационные станции (СРЛС) обнаружения. Из них пять оснащены СРЛС «Днепр» (дислокация вблизи Мурманска, Мукачево, Севастополя, Иркутска, Балхаша), два — СРЛС «Дарьял» (дислокация вблизи Печоры и Мингечаура) и один — СРЛС «Дунай-ЗУ» (Московская область).

РЛС «Дунай-ЗУ» вносит основной вклад в решение задач ККП, в частности, главной задачи СККП — поддержания каталога космических объектов (КО), находящихся на орбитах ИСЗ.

Участие СРЛС в контроле КО означает, что СРЛС наблюдает этот КО и получает по нему измерения, направляемые в ЦККП.

Ключевая роль РЛС «Дунай-ЗУ» в решении задач ККП определяется следующими причинами:

1. РЛС «Дунай-ЗУ» в отличие от других РЛС («Днепр», «Дарьял») работает в дециметровом диапазоне. Это позволяет в принципе получать измерения по объектам размера от 15 до 40 см, которые практически недоступны для наблюдения в РЛС метрового диапазона («Днепр», «Дарьял») и которых в каталоге половина (около 2500).
2. РЛС «Дунай-ЗУ» является высокопотенциальной. Её характеристики (рабочий диапазон частот и мощность излучения) сравнимы с характеристиками основной американской РЛС AN/FPS-85, дислоцированной на авиабазе Эглин (штат Флорида).
3. Основным режимом работы РЛС «Дунай-ЗУ» является построчный обзор всего сектора ответственности, т. е. СРЛС производит обнаружение КО во всем секторе. Это создает существенные преимущества перед другими высокопотенциальными РЛС при работе по малоразмерным ИСЗ, в частности, перед РЛС «Дарьял», которая обнаруживает КО только в достаточно узкой барьерной зоне.

Обе РЛС во время БД обнаруживали и сопровождали различные космические объекты по заданию вышестоящих органов управления. Благодаря высокой точности определения координат целей РЛС «Дунай-ЗУ» постоянно привлекались к работам по определению координат падения особо важных отечественных и зарубежных сгораемых ИСЗ. Так, СРЛС-61 следила за космической станцией «Мир» во время схождения её с орбиты и обеспечила проведение анализа «разрушения», произошедшего 11 февраля 2009 г.

Западная РЛС «Дунай-ЗУ» показала свои высокие характеристики при работе по малоразмерным целям ЭПР 0,017 кв м, выпущенных с корабля «Шаттл». Все цели были обнаружены на максимальной дальности и сопровождались до выхода из сектора ответственности станции. Информация передавалась на вышестоящие КП. Успешно участвовала в военно-космическом эксперименте с использованием КА 11Ф634 ракетно-космического комплекса «Тайфун».

В период с 1978 г. по 1998 г. СРЛС-62 совершила проводки баллистических ракет и запусков ИСЗ по трассам Капустин Яр — Балхаш, Капустин Яр — Аральск — Эмба, Аральск — Камчатка, Аральск — Томск, Саратов — Камчатка и запусков ИСЗ. Всего за это время было проведено более 700 проводок экспериментальных баллистических простых и сложных целей и запусков спутников Земли.

К настоящему времени аппаратура станций отработала тройной гарантийный срок, и станции нуждаются в модернизации. Модернизация СРЛС проводится с целью:

- повышения тактико-технических характеристик путём применения новейших достижений в радиоэлектронной промышленности и вычислительной технике: адаптивных цифровых приёмных фазированных антенных решёток (АЦПФАР), цифровой обработки радиолокационной информации, полупроводниковых усилителей мощности с высоким коэффициентом полезного действия, процессоров параллельной обработки, программируемых логических интегральных схем, полупроводниковых маломощных усилителей мощности, а также оптимизации режимов работы станции;
- продления ресурса путём замены комплектов аппаратуры на новые, выполненные на современной элементной базе, замены

- выработавших ресурс элементов новыми, а также восстановлением (капитальным ремонтом) некоторых дорогостоящих узлов;
- сокращения эксплуатационных расходов путём уменьшения энергопотребления и номенклатуры аппаратуры, совершенствования инженерного оборудования и, как следствие, сокращения численности обслуживающего персонала;
- улучшения экологической обстановки в районе дислокации СРЛС за счёт снижения энергопотребления и совершенствования инженерного оборудования, что приводит к сокращению водопотребления и прекращению слива загрязнённых вод. Модернизация СРЛС-61 проводится без вывода станции с боевого дежурства. Модернизация СРЛС-62 не проводится, так как средства на это не выделены.

Радиолокационная станция «Волга» поставлена на дежурство не с полным комплектом аппаратуры, предусмотренным документацией. Кроме того, из-за длительных сроков создания часть аппаратуры (особенно вычислительной) морально устарела. В связи с этим для достижения заданных характеристик требуется её модернизация, которая пока не запланирована. Для достижения заданных по первоначальному ТТЗ характеристик требуется доукомплектование станции приёмными и передающими модулями. Вычислительная аппаратура станции создана на элементной базе 1980-х гг. и нуждается в замене.

Требования к характеристикам РЛС дальнего обнаружения: по дальности, точности определения координат, разрешающей способности по дальности и особенно по периоду обновления информации постоянно возрастают в связи с совершенствованием средств нападения. В существующих станциях ДО обычно изменяется от 1 до 6 и более секунд. Такой период не позволяет РЛС давать информацию по существующим и разрабатываемым высокоманевренным целям из-за применения в РЛС последовательного или последовательно-параллельного метода обзора пространства. Поэтому во вновь разрабатываемых станциях необходимо перейти к параллельному обзору заданного телесного угла пространства.

В НИИДАР рассматривались варианты построения станций с параллельным обзором. Выбран вариант, в котором используются две антенны: передающая и приёмная. Передающая антенна формирует ДН специальной формы, обеспечивающей облучение всего заданного телесного угла — зоны действия станции при одинаковом потенциале во всех угловых направлениях. Поляризация излучённого поля — круговая. На приём формируется система острых пересекающихся диаграмм, перекрывающих весь облучаемый телесный угол. При этом предполагается производить оцифровку принимаемых сигналов после усиления на несущей частоте. Возможны два варианта: приём сигналов излучателями круговой поляризации или отдельный приём и оцифровка двух ортогональных поляризаций с последующей цифровой обработкой по каждой поляризации.

Литература

1. Бондаренко А.П., Евстропов Г.А., Перов Д.А. Принцип построения и ожидаемые основные характеристики РЛК, предназначенных для работы по высокоманевренным целям.

2. Вешникова И.Е., Евстропов Г.А. Согласованные щелевые излучатели // Радиотехника и электроника, том X, №7, 1965.
3. Евстропов Г.А., Роголёв В.А., Сапрыкин С.Д., Сосильников В.П., Старостенков Е.А. Experience of antenna complexes creation for the radars of distant detecting and space area monitoring. Доклад на 4-й Международной конференции по теории и технике антенн. – Севастополь, 1999 // Proceedings of the III rd International Conference Antenna Theory and Techniques.
4. Евстропов Г.А., Роголёв В.А., Сапрыкин С.Д., Старостенков Е.А. Антенные комплексы для РЛС дальнего обнаружения и контроля космического пространства. Активные фазированные антенные решётки / Под ред. Д.И. Воскресенского и А.И. Канащенкова. – М.: Радиотехника, 2004.
5. Евстропов Г.А., Иммореев И.Л. Цифровые методы формирования диаграмм направленности приёмных антенных решеток. Проблемы антенной техники. – М.: Радио и связь, 1989.
6. Евстропов Г.А. Резонансные щели в ребристом волноводе // Вопросы радиоэлектроники. – Сер. XII (общетехническая). – Вып. 13, 1960.
7. Евстропов Г.А. Вопросы расчёта антенн бегущей волны с электрическим качанием луча // Антенны. – 1975. – Вып. 22.
8. Евстропов Г.А. Вопросы расчёта линейных антенных решёток бегущей волны. Активные фазированные антенные решётки. // Под ред. Д.И. Воскресенского и А.И. Канащенкова. – М.: Радиотехника, 2004.
9. Evstropov G.A., Klimenko A.I. Distance resolution for continuous radiation radar antenna characteristics. Proceedings of the XXVIII Moscow International conference on antenna and Technology. – 22–24 September 1998, Moscow.
10. Евстропов Г.А., Клименко А.И. Исследование статистических характеристик секционированных линейных излучателей бегущей волны // Электросвязь. – 1996. – № 2.
11. Евстропов Г.А. Адаптивная цифровая приёмная ФАР. Активные фазированные антенные решётки. // Под ред. Д.И. Воскресенского и А.И. Канащенкова. – М.: Радиотехника, 2004.
12. Евстропов Г.А. Исследование характеристик излучения бесконечной эквидистантной решётки плоских волноводов с открытыми концами // Антенны. – 2005. – № 3 (94).
13. Евстропов Г.А., Хуторовский З.Н. Непревзойдённый «Дунай-3У» // Воздушно-космическая оборона. – 2009. – № 5 (48).
14. Евстропов Г.А. Станция дальнего обнаружения «Дунай-3У». – ООО «Место печати», 2008.
15. Кисунько Г. Секретная зона. – М.: Современник, 1996.
16. Корпорация «Вымпел». Системы ракетно-космической обороны. – М.: Оружие и технологии, 2005.
17. НИИДАР. 90 незабываемых лет. Юбилейный сб. – ООО «Дизайн-студия АСК».
18. Оружие России. Каталог. – Т. V. – Вооружение и военная техника войск противовоздушной обороны. – М.: ЗАО «Военный парад», 1997.
19. Первов М. Системы ракетно-космической обороны создавались так. – М.: АвиаРус-XXI, 2003.
20. Рубежи обороны в космосе и на земле. Автор-сост. Завалий Н.Г. – М.: Вече, 2003.



АЛЕБАСТРОВ В.А.,
ОАО «НПК «НИИДАР»,
кандидат физико-математических наук



ШУСТОВ Э.И.,
главный конструктор
РЛС «Резонанс» ОАО
«НПК «НИИДАР»

РАЗВИТИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ЗАГОРИЗОНТНОЙ РАДИОЛОКАЦИИ

Первая в нашей стране попытка использования пространственных радиоволн дециметрового диапазона для радиолокации целей (самолётов) далеко за пределами горизонта была сделана Н.И. Кабановым в 1946–1949 гг. (НИР «Веер», ЦНИИС МО, г. Мытищи Московской области). В результате этой работы было установлено явление обратного рассеяния сигналов наклонного зондирования земной поверхностью. На фоне этих сигналов, являющихся мощной пассивной помехой, не удалось выделить отражённый от цели сигнал.

В 1958–1960 гг. была выполнена НИР «Дуга» (НИИ-101, г. Москва), в которой была обоснована принципиальная возможность загоризонтного (ЗГ) обнаружения самолётов на дальности одного скачка отражения радиоволн от ионосферы (~ 3000 км) и стартующих баллистических ракет (БР) на дальностях двух скачков (~ 6000 км). Были предложены корреляционно-фильтровые методы выделения сигналов с доплеровским смещением частоты на фоне мощных сигналов возвратно-наклонного зондирования (ВНЗ). На специальном полигоне методом электродинамического моделирования были измерены эффективные отражающие поверхности самолётов и корпусов БР в диапазоне дециметровых радиоволн применительно к моно- и бистатическим схемам радиолокации с разнесением приёмника и передатчика от 0 до 180°.

С 1962 г. работы по ЗГ радиолокации были развёрнуты в Научно-исследовательском институте дальней радиосвязи (НИИДАР, г. Москва). На юге Украины, в районе г. Николаева был создан экспериментальный радиолокатор, на котором в 1964 г. осуществлены первые ЗГ обнаружения стартов БР на дальности 3000 км. После модернизации на этом локаторе в 1967–1968 гг. были осуществлены обнаружения самолётов. На измерительных радиолокационных пунктах, в зоне прямой видимости в 1962–1972 гг. были измерены эффективные площади рассеяния (ЭПР) ионизированных следов стартующих БР.

В 1966–1972 гг. был создан опытный образец ЗГ РЛС (рис. 1), который в 1976 г. был существенно модернизирован. В секторе обзора этой РЛС на дальностях до 7000 км был создан комплекс вынесенных средств для контроля и исследования условий распространения радиоволн. Была создана также специальная станция обзора трасс, предназначенная для диагностики ионосферы и исследования сигналов ВНЗ. На этих средствах были проведены экспериментальные исследования закономерностей распространения зондирующих и отражённых от целей сигналов, свойств активных и пассивных помех, а также отработаны в натуральных условиях аппаратные и алгоритмические решения, которые легли в основу последующих разработок ЗГ РЛС. Выполненные теоретические и экспериментальные исследования позволили определить принципы построения ЗГ РЛС и их особенности по сравнению с высокопотенциальными надгоризонтными радиолокаторами.



Рис. 1
Опытный образец ЗГ РЛС

С целью адаптации ЗГ РЛС к непрерывно изменяющимся геофизическим условиям в их состав должны быть включены специальная аппаратура и алгоритмы оптимизации частотно-угловых режимов работы станции, позволяющие выбирать оптимальные диапазоны рабочих частот, углы излучения и приёма, обеспечивающие минимальные потери сигнала в канале распространения. В качестве основного источника информации о канале используются сигналы возвратно-наклонного зондирования в широком диапазоне частот.

Для борьбы с активными помехами, обусловленными сигналами посторонних радиостанций, в состав ЗГ РЛС должен быть введён тракт поиска рабочих каналов с минимальным уровнем помех. Принцип работы этого тракта основан на панорамном обзоре диапазона оптимальных рабочих частот и анализе непрерывно изменяющейся помеховой обстановки. В результате выбираются рабочие и резервные частотные каналы с минимальным уровнем помех и достаточной стабильностью этого уровня во времени.

Использование декаметрового диапазона радиоволн для загоризонтного обнаружения и необходимость адаптации к изменяющимся геофизическим и помеховым условиям приводят к необходимости построения широкодиапазонных РЛС (коэффициент перекрытия по частоте составляет 4–10) с быстрой сменой рабочей частоты для ухода от помех. Это определяет тип станции как автоматизированной, непрерывно адаптирующейся к внешним условиям системы.

Для частотной режекции пассивных помех и выделения сигнала цели на фоне мощных активных и пассивных помех в ЗГ РЛС должны быть предусмотрены когерентное излучение и обработка сложномодулированных сигналов. Для обеспечения помехозащиты станции и выполнения требований по разрешающей способности по дальности раз-

работан и реализован набор зондирующих сигналов с оперативным выбором типа этих сигналов во время работы с целью адаптации к непрерывно изменяющимся помеховым условиям.

Быстрый обзор пространства при большой требуемой мощности излучения обеспечивается в ЗГ РЛС посредством запитки групп излучателей антенны отдельными передатчиками с управляемым по фазе сигналом. Приём полезных сигналов осуществляется на группу парциальных диаграмм направленности с фазовым управлением. С целью минимизации потерь на радиолокационных трассах в секторе обзора, а также для уменьшения влияния активных и особенно пассивных помех используется излучение зондирующих сигналов в течение периода повторения на различных частотах и в различных направлениях сектора обзора.

Аппаратура ЗГ РЛС, размещаемая для обеспечения развязки на разнесённых передающей и приёмной позициях, обеспечивает излучение, приём и многоканальную обработку сигналов. Выделение полезного сигнала на фоне мощных пассивных и активных помех реализуется за счёт когерентной обработки с использованием доплеровской фильтрации для выделения полезного сигнала с учётом доплеровского смещения его частоты и расширения спектра флуктуаций полезного сигнала. В алгоритмах первичной и траекторной обработки сигналов нестационарность и априорная неопределённость параметров помех потребовала разработки специальных мер по стабилизации ложных тревог, например адаптивной установки порога.

В период создания экспериментального и опытного образцов ЗГ РЛС и проведения научно-исследовательских работ были осуществлены загоризонтные обнаружения одиночных и групповых стартов баллистических ракет на дальности до 6000 км, самолётов на дальностях до 3000 км. На основе анализа и обобщения результатов этих работ получены неизвестные ранее энергетические, временные и спектральные характеристики сигналов, а также активных и пассивных помех.

При анализе накопленных экспериментальных данных по обнаружению БР был выделен эффект, названный эффектом ударной термодинамической ионизации, повышающий ЭПР следа БР на доионосферных участках полёта на 2–3 порядка за счёт ионизации нейтральных компонент атмосферы. Позднее это было подтверждено теоретическими исследователями. Этот эффект принципиально важен для обнаружения гиперзвуковых аппаратов, летающих на малых высотах.

Разработанные принципы были положены в основу создания боевых станций ЗГ РЛС.

В 1977–1978 гг. были созданы два узла загоризонтной радиолокации: узел № 1 на западе (район г. Чернобыля) и узел № 2 на востоке (район г. Комсомольска-на-Амуре) (рис. 2).

Основной задачей этих узлов было обнаружение стартов межконтинентальных баллистических ракет с территории США на дальностях 8–10 тыс. км.

Изготовление аппаратуры и строительство узлов проводилось большой кооперацией предприятий, организаций и воинских частей. Для оценки возможностей этих узлов по обнаружению одиночных и групповых стартов баллистических ракет силами специалистов были созданы комплексный испытательный моделирующий стенд, включённый в со-

став узла при проведении испытаний, и автономная модель загоризонтного обнаружения стартов БР.

Первое автоматическое загоризонтное обнаружение старта МБР типа «Минитмен» с полигона Вандерберг (США) на дальности 8500 км было осуществлено 24 февраля 1980 г. на узле № 2.



Рис. 2
Антенная система ЗГ РЛС. Узел № 2

Положительные результаты этой и других работ по обнаружению стартов МБР типа «Минитмен» и «Титан» с полигона США Ванденберг явились основанием для передачи узла № 2 Министерству обороны и постановки его на боевое дежурство во II квартале 1982 г. в составе системы предупреждения о ракетном нападении.

В 1982 г. на узле № 1 коллектив НИИДАР завершил доработки, и узел стал уверенно обнаруживать старты баллистических ракет с космическими аппаратами «Шаттл» и «Челленджер» с полигона Кеннеди (США) на дальностях ~ 8000 км. Однако все положительные результаты были достигнуты только в условиях среднеширотных трасс.

В 1982 г. была разработана программа совершенствования ЗГ РЛС для работы на полярных трассах, предусматривающая более глубокие теоретические и экспериментальные исследования процесса загоризонтного обнаружения БР и разработку усовершенствованных технических и алгоритмических решений.

При реализации этой программы был разработан и испытан комплекс новых технических решений по улучшению качества и номенклатуры излучаемых сигналов, усовершенствованы приёмные устройства и методы адаптации ЗГ РЛС.

Для уточнения характеристик распространения и рассеяния радиоволн КВ-диапазона:

- создан наземно-космический комплекс 17К124 для измерения, в том числе на полярных трассах, характеристик распространения радиоволн на расстояние до 10 000 км;
- созданы ракетные измерительные комплексы высотного распределения напряжённости поля на базе научно-исследовательских судов АН СССР «Профессор Визе», «Профессор Зубов».

В 1984–1986 гг. специалистами НИИДАР и его филиала в г. Николаеве была проведена модернизация узла № 1. К работам были также привлечены специалисты ИЗМИРАН и Харьковской военной академии им. Л.А. Говорова. Работы проводились с использованием новых режимов работы ЗГ РЛС и запущенного спутника «Космос-2049» с аппаратурой трансзондирования в КВ-диапазоне, разработанной и изготовленной НИИДАР и его опытным заводом. Однако после аварии на Чернобыльской АЭС работы на узле № 1 были остановлены. В 1990 г. из-за пожара на командном пункте узла № 2 работы на нём также были свёрнуты, а узел был выведен из состава системы предупреждения о ракетном нападении.

При создании ЗГ РЛС следующего поколения был разработан ряд новых технических решений:

- контроль работы аэродромов с обнаружением районов взлётов и посадок;
- классификация целей по признакам «легкомоторный», «лёгкий», «тяжёлый»;
- классификация целей по признаку «одиночная – групповая» с оценкой количества самолётов вне разрешённой группы;
- выдача информации о данных ЗГ РЛС по каналам КВ-связи в автоматическом режиме на расстоянии до 4 тыс. км для автоматического наведения истребителей на самолёты для их перехвата.

Параллельно с работами по загоризонтному обнаружению самолётов и стартующих БР с 1979 г. проводились работы по отработке принципов обнаружения надводных целей на дальностях до 3000 км (пространственная волна) и на дальностях до 500 км (поверхностная волна). В 1982–1992 гг. был создан экспериментальный комплекс «Волна» на Дальнем Востоке (рис. 3).

В ЗГ РЛС «Волна» впервые в отечественной практике был предложен новый тип антенн для береговых загоризонтных РЛС с длиной до 1500 м при высоте приёмного элемента 5 м, одним из элементов которой являлась морская поверхность. Остальная аппаратура ЗГ РЛС, включая современные вычислительные средства, размещалась в транспортируемых кабинах (КУНГах), что резко снижало затраты на строительство зданий и сооружений.



Рис. 3
Экспериментальный комплекс «Волна»

В декабре 1986 г. первая очередь ЗГ РЛС «Волна» была подготовлена для проведения экспериментальных работ по обнаружению поверхностной волной надводных кораблей в ближней зоне. 4 декабря 1986 г. впервые в отечественной практике удалось обнаружить научно-исследовательское судно «Океан» на дальностях 80–150 км, а 24 и 25 декабря были успешно проведены работы по загоризонтному обнаружению сторожевого корабля ТОФ «Летучий» на дальностях 80–270 км. В марте – сентябре 1987 г. проводились аналогичные работы, в результате которых удалось осуществить загоризонтное обнаружение надводных кораблей поверхностной волной на дальности до 300 км. Работы с положительными результатами по обнаружению кораблей и самолётов на дальностях до 2800 км были проведены в мае – ноябре 1987 г.

В это же время был создан экспериментальный образец корабельной ЗГ РЛС на базе гидрографического судна «Адмирал Невельской», и проведены работы по зондированию ионосферы и исследованию возможностей обнаружения надводных кораблей поверхностной волной.

После проведения дополнительных работ в 1988–1990 гг. по модернизации программно-алгоритмического обеспечения ЗГ РЛС «Волна» стала успешно обнаруживать и сопровождать авианесущие группировки США, дислоцирующиеся в зонах Тихого океана на дальностях более 3000 км.

После государственных испытаний в 1992 г. ЗГ РЛС «Волна» была передана ВМФ РФ для решения задач обнаружения надводных и воздушных целей в интересах Тихоокеанского флота.

В 1999 г. на полуострове Камчатка построен экспериментальный образец низкопотенциальной ЗГ РЛС поверхностной волны «Телец». Эта станция создавалась с использованием последних достижений в вычислительной технике, антенных системах, приёмной и передающей аппаратуре. В сентябре-октябре 1999 г. на ЗГ РЛС «Телец» проводились работы по загоризонтному обнаружению поверхностной волной надводных кораблей ВМФ США на дальностях до 250 км, а также осуществлено загоризонтное обнаружение самолётов.

Данные работы подтвердили перспективность создания низкопотенциальных береговых ЗГ РЛС для контроля морской и воздушной обстановки в 200-мильной экономической зоне.

В 2006 г. были успешно завершены испытания головного опытного образца ЗГ РЛС поверхностной волны (изделие 5П-21), переданного в эксплуатацию Военно-морскому флоту РФ. В 2008 г. завершились испытания первого серийного образца этого изделия, который выполняет совместно с головным опытным образцом задачи контроля обстановки в Дальневосточном регионе.

На базе технологий загоризонтной радиолокации в 1986 г. были разработаны предложения по использованию явления резонансного рассеяния радиоволн на целях для обнаружения аэродинамических целей «невидимок» (крылатых ракет и самолётов), изготовленных по «Стелс»-технологии. Методом электродинамического моделирования на полигоне 2 ЦНИИ МО были измерены ЭПО целей в резонансной области рассеяния.

В 1990–1995 гг. в рамках НИР «Резонанс» были созданы два экспериментальных радиолокатора надгоризонтного обнаружения в длинноволновой части метрового диапазона. На этих образцах при обнару-

жении реальных целей были подтверждены явления резонансного рассеяния радиоволн воздушными целями с существенным увеличением ЭПР, а также подтверждены возможности обнаружения стартующих баллистических ракет.

Разработанная РЛС «Резонанс-НЭ» имеет твёрдотельное построение и высокую степень автоматизации основных процессов функционирования. Физический принцип резонансного отражения радиоволн от целей приводит к резкому увеличению ЭПО воздушных объектов и делает «Стелс»-технология неэффективной. РЛС предназначена для дальнего обнаружения широкого класса современных и перспективных воздушных объектов, включая малозаметные крылатые ракеты, гиперзвуковые летательные аппараты и баллистические ракеты.

В 1998 г. было предложено использовать в радиолокации метод «вращающегося поля» для измерения азимута целей, что позволяет существенно упростить приёмную антенну. В 2009 г. в рамках НИР «Волгарь» был создан экспериментальный образец радиолокатора в метровом диапазоне радиоволн. На этом образце были экспериментально подтверждены высокие точности измерения азимута целей.

Наработанные в процессе освоения технологии создания ЗГ РЛС научные, технические и технологические результаты позволяют приступить к созданию ЗГ РЛС, решающих задачи двойного назначения, в том числе:

- контроль воздушного пространства и надводной обстановки в труднодоступных для традиционных средств наблюдения районах;
- ионосферный мониторинг и мониторинг водной поверхности морских и океанических акваторий в целях контроля и предупреждения о природных катаклизмах типа цунами, землетрясений и тайфунов;
- контроль антропогенных воздействий в верхних слоях ионосферы.



Рис. 4
Антенная система ЗГ РЛС

Накопленные технологические, алгоритмические и развитые в последнее десятилетие математические методы обработки позволяют подойти к разработке многофункциональных средств ЗГО.



ЕВСТРАТОВ Ф.Ф.,
главный конструктор ОАО
«НПК «НИИДАР», доктор тех-
нических наук.

ПРОБЛЕМЫ И ДОСТИЖЕНИЯ В СОЗДАНИИ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ЗАГОРИЗОНТНЫХ РЛС ПОВЕРХНОСТНОЙ ВОЛНЫ

Введение

В настоящее время многие страны для контроля морской и воздушной обстановки в прибрежной зоне используют береговые РЛС СВЧ диапазона. Однако дальность действия береговых РЛС СВЧ диапазона ограничена пределами прямой видимости. Даже при подъёме РЛС СВЧ диапазона на высоту порядка 100–150 м максимальная дальность действия такой РЛС составит 50–60 км.

Морскую и воздушную обстановку в 200-мильной экономической зоне можно контролировать также бортовыми РЛС, расположенными на кораблях или самолётах, но они дают информацию только в ограниченном интервале дальностей этой зоны и не обеспечивают непрерывный всепогодный контроль. Для этих целей можно использовать загоризонтные РЛС пространственной волны, но они требуют больших дорогостоящих сооружений и имеют ограниченные возможности по обнаружению морских объектов. У спутниковых систем нет ни пространственного, ни временного разрешения для обеспечения необходимого уровня и качества непрерывного круглосуточного наблюдения за морской и воздушной обстановкой в реальном времени.

Оптимальным решением задачи контроля морской и воздушной обстановки в пределах 200-мильной экономической зоны является использование данных от различных источников информации.

Важнейшим компонентом такой системы являются коротковолновые (КВ) загоризонтные (ЗГ) РЛС поверхностной волны (ЗГ РЛС ПВ), которые способны круглосуточно обнаруживать надводные объекты на дальностях более 300 км, летящие на различных высотах воздушные объекты на дальностях до 500 км и гиперзвуковые аппараты в секторе до 110–120° по азимуту. Контроль морской, воздушной и космической обстановки с использованием ЗГ РЛС ПВ, бесспорно, эффективнее по сравнению с традиционными методами наблюдения, дающими только мгновенную картину деятельности в пределах патрулируемого района.

Данные от ЗГ РЛС ПВ могут дополняться информацией, полученной от спутников, а также от патрульных кораблей, самолётов и вертолётов,

которые основное время могут находиться в портах или на аэродромах и вылетают (выходят в море) только после обнаружения ЗГ РЛС ПВ непознанных морских объектов для инспекции их в районах, где обнаружены эти объекты.

Достижения в создании загоризонтных РЛС поверхностной волны

В 2003–2009 гг. специалисты ОАО НПК НИИДАР в кооперации с заводами-изготовителями выполнили работы по проектированию, изготовлению и испытаниям загоризонтных РЛС поверхностной волны.

Аппаратурный комплекс созданных ЗГ РЛС поверхностной волны (ПВ) размещается на двух площадках, расположенных на морском побережье на расстоянии 30–50 м от уреза морской поверхности. Особенностью конструкции ЗГ РЛС ПВ является то, что аппаратура передающей площадки только усиливает и излучает зондирующие сигналы, которые формируются в устройстве приёма и обработки информации. Такое построение РЛС позволило выполнить требования по синхронизации и когерентной обработке сигналов.

Структурная схема ЗГ РЛС ПВ приведена на **рис. 1**. На передающей площадке расположены передающее АФУ и устройство усиления мощности. На приёмной площадке расположены приёмное АФУ и устройство приёма и обработки информации. Устройство приёма и обработки информации состоит из аппаратуры шкафа разветвления и коммутации, четырех шкафов 32-канальных приёмников, аппаратуры шкафа спецвычислителя и центрального процессора (сервера). Управление работой передающей площадки осуществляется дистанционно с центрального процессора, размещенного на приёмной площадке. Формирование зондирующих и контрольных сигналов осуществляется аппаратурой приёма и обработки сигналов, размещенной в шкафах многоканальных приёмников. Разветвленная система автоматического контроля работоспособности аппаратуры РЛС позволяет оперативно определять и устранять возникающие неисправности. Управление работой РЛС осуществляется с рабочего места оператора № 1, на котором отображается информация о параметрах РЛС, режимах

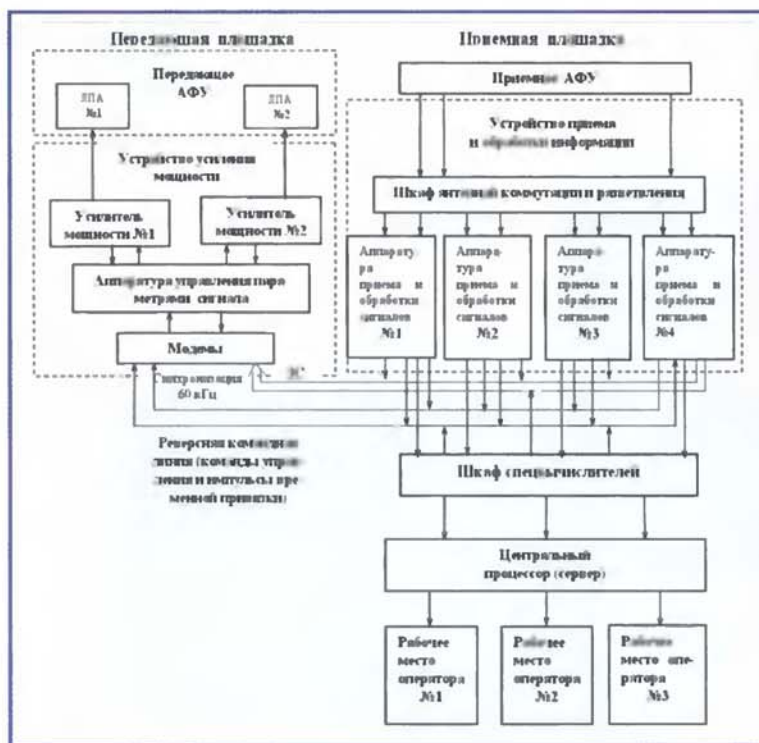


Рис. 1
Структурная схема ЗГ РЛС ПВ

работы радиолокатора и характеристиках излучаемых сигналов. Информация о техническом состоянии аппаратно-программного комплекса радиолокатора отображается на дисплее второго рабочего места оператора. Результаты обнаружения морских и воздушных объектов отображаются на дисплее третьего рабочего места оператора.

Размещение оборудования ЗГРЛС ПВ на морском побережье приведено на **рис. 2**.

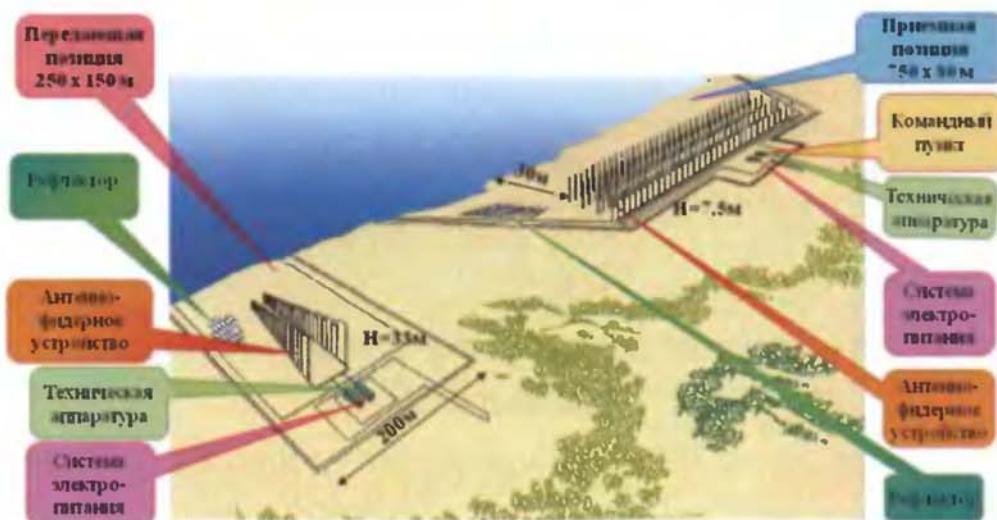


Рис. 2

Размещение ЗГРЛС поверхностной волны на местности

Реализованный в РЛС способ контроля зоны ответственности по азимуту, дальности и углу места показан на **рис. 3**. Из этого рисунка видно, что в ЗГРЛС ПВ реализовано одновременное параллельное освещение и одновременный приём информации об обнаруженных объектах во всей зоне ответственности по азимуту, дальности и углу места.



Рис. 3

Способ контроля зоны ответственности ЗГРЛС поверхностной волны

В процессе выполнения этих работ решены следующие научно-технические проблемы:

- создание сверхширокополосных передающих и приёмных антенных систем, достаточно эффективно возбуждающих и принимающих сигналы поверхностной волны и обеспечивающих одновременно излучение и приём сигналов также и в зоне прямой видимости;**
- разработка и создание сверхширокополосных передающих устройств;**
- разработка и создание сверхширокополосных приёмных устройств с цифровым формированием приёмных лучей и адаптивной обработкой информации;**
- адаптация ЗГРЛС к внешней помеховой обстановке в зоне дислокации радиолокатора для обеспечения электромагнитной совместимости его с другими средствами КВ-диапазона;**
- выделение полезных сигналов на фоне помех от других средств КВ-диапазона, отражений от морской поверхности и ионосферы.**

Для решения проблемы адаптации к типам обнаруживаемых объектов и к внешним условиям работы в конструкции ЗГ РЛС ПВ реализованы различные режимы работы и виды зондирующих сигналов (ЗС), различные полосы электронной перестройки (ПЭП) рабочей частоты излучаемых сигналов, в пределах которых рабочие частоты радиолокатора быстро изменяются.

Режимы работы, виды ЗС и ПЭП задаются оператором в зависимости от главной задачи, которая поставлена перед РЛС, а также от уровня и источника внешней помехи. Для адаптации к активным помехам используется специальный аппаратурно-программный комплекс, который оценивает параметры и частотное распределение сигналов, излучаемых другими источниками, и выбирает для работы РЛС частоты, в данный момент времени не используемые альтернативными источниками излучения.

Основные принципы обнаружения объектов

Используемое в ЗГ РЛС ПВ явление дифракции коротковолновых электромагнитных сигналов над морской поверхностью обеспечивает проникновение этих сигналов за радиогоризонт. При этом электромагнитное поле вертикально поляризованных радиолокационных сигналов КВ-диапазона как бы «прилипает» к криволинейной морской проводящей поверхности, и при определенных длинах волн энергетика этих сигналов достаточна для загоризонтной радиолокации морских объектов на дальностях, существенно превышающих дальность прямой видимости. Результаты экспериментальных работ, проведенных на макетах и экспериментальных образцах ЗГ РЛС ПВ, позволили определить, что для формирования и распространения на большие дальности поверхностных волн оптимальной является работа на нижней границе КВ-диапазона.

Отражающая способность объекта определяется как эффективная поверхность рассеяния (ЭПР). В ЗГ РЛС ПВ для возбуждения поверхностной волны используются сигналы вертикальной поляризации. Поэтому

ЭПР объекта сильно зависит от вертикального размера объекта L , измеренного в длинах волн λ излучаемых комплексом сигналов.

Есть три различных области ЭПР — релеевская, резонансная и оптическая:

- в релеевской $\lambda/4 \gg L$;
- в резонансной $\lambda/4 \approx L$;
- в оптической $\lambda/4 \ll L$.

Для работы ЗГ РЛС ПВ определяющим является вертикальная высота объекта над морской поверхностью. Объекты, которые имеют вертикальный размер, сравнимый с четвертью длины волны несущей частоты РЛС, находятся в резонансной области. Например, ЭПР рыболовного сейнера с вертикальной мачтой высотой 15 м составляет величину порядка 23–25 дБ.

Если длина волны больше вертикального размера объекта, то ЭПР находится в релеевской области, где ЭПР быстро уменьшается с увеличением длины волны сигналов, излучаемых РЛС. Выходом является увеличение рабочей частоты РЛС, но при этом добавятся потери за счёт загоризонтного распространения, которые могут превысить увеличение ЭПР.

Основной составляющей потерь при распространении поверхностных волн (затухание или ослабление сигналов) является уменьшение уровня сигналов при их распространении над морской поверхностью. Оно вызывается также явлением дифракции КВ-сигналов на островах и береговой линии, а также переотражениями этих сигналов, которые зависят от уровня волнения моря.

Для гладкой морской поверхности затухание поверхностных волн пропорционально несущей частоте, а дополнительные потери обусловлены неровностью морской поверхности, вызванной волнением моря. Следовательно, чтобы минимизировать затухание ПВ, необходимо работать в нижней части полосы рабочих частот, однако при этом может существенно уменьшиться ЭПР цели.

Результаты расчётов, подтвержденные работами, проведенными на ЗГ РЛС, показали, что:

- максимальное значение отношения сигнал/помеха для обнаружения на максимальной дальности корабля водоизмещением 1000–2000 т обеспечивается при работе в диапазоне рабочих частот 5,5–7,5 МГц;
- максимальное значение отношения сигнал/помеха для обнаружения на максимальных дальностях большого корабля водоизмещением более 7000 т реализуется в диапазоне рабочих частот 3,5–5,2 МГц;
- малый самолёт, летящий на высотах 100–500 м, будет обнаружен на максимальной дальности при работе на частотах 6,5–8,5 МГц.

Экспериментальные работы по рейсовым самолётам показали, что для обнаружения больших и средних высоколетящих самолётов на максимальных дальностях необходимо работать на частотах в диапазоне 5,8–10,0 МГц, а для обнаружения малых высоколетящих самолётов на максимальных дальностях — в диапазоне 12,0–14,8 МГц. Следовательно, для одновременного обнаружения морских и воздушных объектов необходимо разработать и создать ЗГ РЛС ПВ, работающую в диапазоне частот 3,5–15,0 МГц.

Одной из проблем, которые решались при проектировании и создании такой ЗГ РЛС поверхностной волны, являлось создание широкополосных передающих и приёмных антенных систем, которые эффективно возбуждают и принимают поверхностную волну в азимутальном секторе $110-120^\circ$.

На **рис. 4** приведена фотография передающей антенны РЛС поверхностной волны. Передающая антенна состоит из двух широкополосных четвертьволновых логопериодических излучателей леерной конструкции. Каждый излучатель в диапазоне рабочих частот РЛС освещает азимутальный сектор шириной $110-120^\circ$ и угломестный сектор величиной $30-40^\circ$. Сигналы от двух передатчиков складываются в эфире.



Рис. 4
Передающая антенна ЗГ РЛС поверхностной волны

На **рис. 5** приведена фотография приёмной антенны этой РЛС. Приёмная антенна состоит из монополей, под которыми размещены подстилающий и формирующий рефлекторы, изготовленные из металлических проводов, уложенных на прилегающее к урезу морской поверхности побережье.



Рис. 5
Приемная антенна ЗГ РЛС поверхностной волны

Приёмная антенна построена по литерному принципу и состоит из двух встроенных один в другого литеров. В низкочастотном литере используются приёмные элементы высокочастотного литера. Два стоящих один за другим приёмных вибратора объединены в пары, обеспечивающие приём сигналов из передней полусферы. Две пары монополей, размещённые в шахматном порядке под углом 30° к биссектрисе приёмной антенны, объединены в приёмные модули из двух пар. Такое построение приёмной антенны обеспечивает приём сигналов с минимальными потерями в азимутальном секторе $110-120^\circ$ и в угломестном секторе $40-45^\circ$.

Принцип выделения полезного сигнала

Для обнаружения объектов в качестве основного принципа выделения полезного сигнала используется доплеровская фильтрация, которая позволяет выделять сигналы по отличиям их доплеровской частоты от доплеровской частоты помех. Известно, что скорость движения морских объектов находится в интервале $0-40$ узлов. По этой причине отражения от морской поверхности оказывают существенное влияние на качество обнаружения морских объектов. В связи с тем, что воздушные объекты летят со значительно большей скоростью, негативное влияние отражений от моря на обнаружение этих объектов существенно меньше.

На **рис. 6** приведены зависимости уровня сигналов (большой уровень соответствует ярко-красному цвету) от морских объектов и пассивной помехи (отражения от морской поверхности) с дискретом 6 дБ от дальности и доплеровской частоты, полученные за $3Г$ РЛС поверхностной волны. На этом рисунке видно, что сигналы от морских объектов характеризуются ярко выраженной избирательностью по дальности, доплеровской частоте и азимуту. В то же время отражения от морской поверхности (Брэгговские отражения) имеют избирательный характер только по доплеровской частоте.

Из этого рисунка видно также, что спектр отражений от морской поверхности содержит два явно выраженных пика-отражения первого порядка, называемых линиями Брэгга. Они являются результатом однократного резонансного рассеяния электромагнитной волны на морских волнах, длина которых равна половине длины волны $3Г$ РЛС и движущихся по направлению к РЛС и от нее.

При доплеровских частотах сигналов от объектов, соответствующих

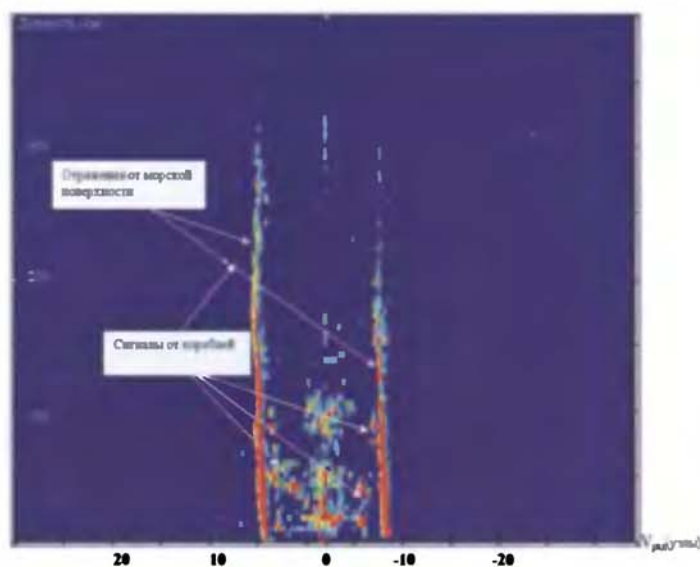


Рис. 6
Отражения от морской поверхности и сигналы от морских объектов

брэгговским линиям, обнаружение морских объектов затруднено. При создании ЗГ РЛС ПВ разработан метод обеспечения обнаружения морских объектов, идущих со скоростями, которые находятся в зоне брэгговских пиков.

Кроме отражений первого порядка имеются также и отражения второго порядка, обусловленные двойным рассеянием на морских волнах. Интенсивность этих отражений не оказывает влияния на обнаружение морских объектов при волнении моря до 4-х баллов и возрастает с ростом морского волнения.

Специфический характер распределения полезных сигналов по дальности, доплеровской частоте и азимуту позволяет:

- выделять (обнаруживать) целеподобные сигнальные пики на фоне помех, вызванных отражениями от морской поверхности;
- определять координаты морских объектов (дальность, азимут, радиальная скорость);
- селектировать отражения от «точечных» источников, морской поверхности и ионосферы.

Для устойчивого обнаружения различных типов морских и воздушных объектов и адаптации к помехам в загоризонтной РЛС поверхностной волны используется несколько режимов обнаружения, которые отличаются полосой излучаемых частот и количеством излучаемых зондирующих сигналов.

Зондирующие сигналы с широкой полосой обеспечивают уменьшение уровня отражений от морской поверхности и используются для обнаружения морских объектов.

Зондирующие сигналы с узкой полосой обеспечивают уменьшение уровня активной помехи от других средств, работающих в КВ-диапазоне.

Для одновременного обнаружения морских и воздушных объектов в ЗГ РЛС ПВ предусмотрена возможность использовать два режима одновременно, когда один режим задается на первый или второй излучаемый импульс и на один комплект 32-канальных приёмников (канал обнаружения), а другой режим — на другой импульс и на второй комплект 32-канальных приёмников.

Для выполнения требований по электромагнитной совместимости ЗГ РЛС ПВ с другими средствами, работающими в КВ-диапазоне радиоволн, диапазон рабочих частот радиолокатора разбит на 4 поддиапазона — 4 полосы электронной перестройки (ПЭП). В каждом ПЭП перестройка рабочей частоты осуществляется практически мгновенно.

Внешние факторы, влияющие на характеристики ЗГ РЛС ПВ

На характеристики ЗГ РЛС ПВ сильное влияние оказывают несколько внешних факторов.

Помимо сигналов от морских и воздушных объектов комплекс принимает сигналы внешней активной радиопомехи, создаваемой источниками излучений, работающими в диапазоне рабочих частот комплекса. ЗГ РЛС принимает также сигналы пассивной помехи (ПП), создаваемые отражениями от морской поверхности, сигналы обратного рассеяния

от ионосферы и сигналы возвратно-наклонного зондирования. Сигналы возвратно-наклонного зондирования (ВНЗ) возникают при переотражении вперед ионосферой излучаемых РЛС сигналов и последующего отражения их от подстилающей поверхности. Реализованный в РЛС много-частотный режим работы исключает приём сигналов ВНЗ.

Внешняя активная радиопомеха является узкополосной пространственно сосредоточенной. Мощность сигналов этой помехи зависит от времени суток и сезона. Ночью внешняя радиопомеха возрастает на 15–20 дБ. Это объясняется тем, что системы радиосвязи на дальние расстояния используют пути распространения моды пространственной волны через ионосферу и занимают весь КВ-диапазон. По регламенту дальней радиосвязи эти системы днём работают на высоких частотах, а ночью — на низких частотах выделенного им частотного диапазона. Переход средств дальней радиосвязи на низкие частоты и вызванное этим увеличение помех в нижней части КВ-диапазона в ночное время суток связано с исчезновением слоя E и слиянием слоев F1 и F2 ионосферы.

РЛС должна учитывать динамику изменения активной помехи, проводить непрерывную оценку загрузки коротковолнового диапазона и выбирать для работы частоты, на которых в настоящее время не работают другие радиостанции. В программном комплексе РЛС должна быть также предусмотрена возможность запрета работы на частотах, излучение на которых для РЛС не разрешено.

Сигналы пассивной помехи имеют сложную структуру. Создаваемая этими сигналами пассивная помеха состоит из сигналов обратного рассеяния от морской поверхности, сигналов обратного рассеяния от ионосферы — ионосферных радиоотражений, сигналов от грозовых образований и сигналов, переотражаемых островами на трассах зондирования.

Сигналы обратного рассеяния от морской поверхности

Морская поверхность является суперпозицией волн различной высоты и с разным пространственным периодом перемещающихся в разных направлениях в зависимости от направления ветра. Доминирующими в доплеровском спектре сигналов ПП от морской поверхности являются компоненты брэгговского резонансного рассеяния первого порядка, образующие характерные пики в доплеровском спектре в окрестности частот, определяемых по формуле:

$$F_{бр1} = \pm 0,102 \sqrt{f_c}, \text{ Гц},$$

где f_c — рабочая частота в МГц.

Помимо их в спектре присутствуют компоненты рассеяния второго порядка, образующие континуум и затрудняющие обнаружение низкоскоростных морских объектов.

Скорость приповерхностного ветра и его направление определяют уровень резонансных сигналов ПП от морской поверхности с заданной доплеровской частотой.

На **рис. 7** приведены сигналы от кораблей и отражения от моря. Можно увидеть, что сигналы от кораблей сосредоточены по дальности

и доплеровской частоте, а отражения от морской поверхности размыты по дальности, но сосредоточены по доплеровской частоте в области двух пиков. При большом шторме, кроме пиков (брэгговских частот) первого порядка, появляются отражения второго порядка, которые усложняют обнаружение морских объектов.

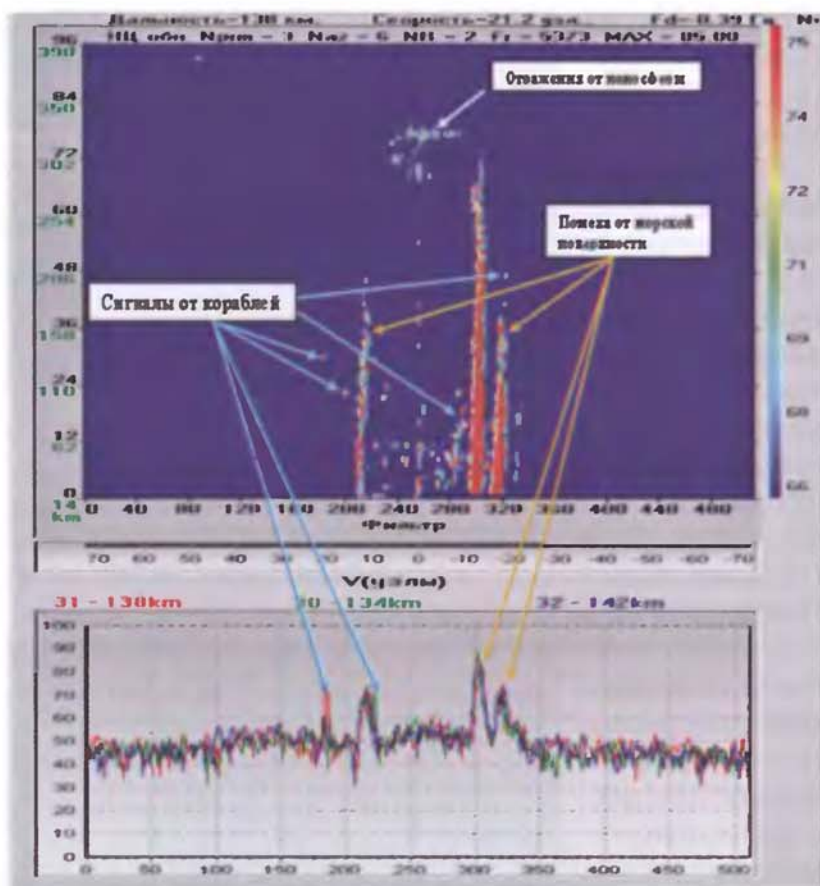


Рис. 7

Сигналы от кораблей, помеха от морской поверхности при большом шторме и отражения от ионосферы в дневное время суток

Сигналы обратного рассеяния от ионосферы (СОР)

Антенные системы комплекса спроектированы таким образом, чтобы максимум излучаемых и принимаемых сигналов распространялся модом поверхностной волны, который возбуждается под малыми углами места. Однако не вся излучаемая комплексом энергия распространяется модом поверхностной волны. Часть энергии распространяется модом пространственной волны, а часть уходит вверх под большими углами места (более 20°) и отражается от слоев ионосферы на высотах 100–300 км. Это создает ионосферную помеху в виде сигналов обратного рассеяния (СОР).

Другая часть энергии распространяется под углом к горизонту, отражается от ионосферы вперед к земле и возвращается ионосферной помехой в виде сигналов ВНЗ.

Для дневного и ночного времени суток разработан довольно эффективный метод управления рабочей частотой, который позволяет существенно снизить влияние ионосферной помехи на характеристики РЛС. На **рис. 7** показано, что при работе РЛС в дневное время суток помеха от ионосферы не оказывает существенного влияния на обнаружение морских объектов на дальностях менее 300 км. В переходное время ионосферная помеха существенно уменьшает дальность действия РЛС.

На **рис. 8** показаны сигналы от кораблей и уровни пассивной помехи от морской поверхности и помехи от ионосферы (красные и желтые точки) от дальности (по вертикали) и радиальной скорости (по горизонтали) при работе комплекса в переходное время (при восходе Солнца). Из этого рисунка видно, что в переходное время суток ионосферная помеха существенно затрудняет обнаружение морских объектов на больших дальностях.

На **рис. 9** приведены результаты обнаружения самолетов на фоне помех от моря и ионосферной помехи. По форме спектров сигналов от самолёта, помех от морской поверхности и отражений от ионосферы видно, что сигнал от самолёта находится в зоне доплеровских частот, которая не занята сигналами от помех. Основная масса самолётов движется с достаточно большими радиальными ско-

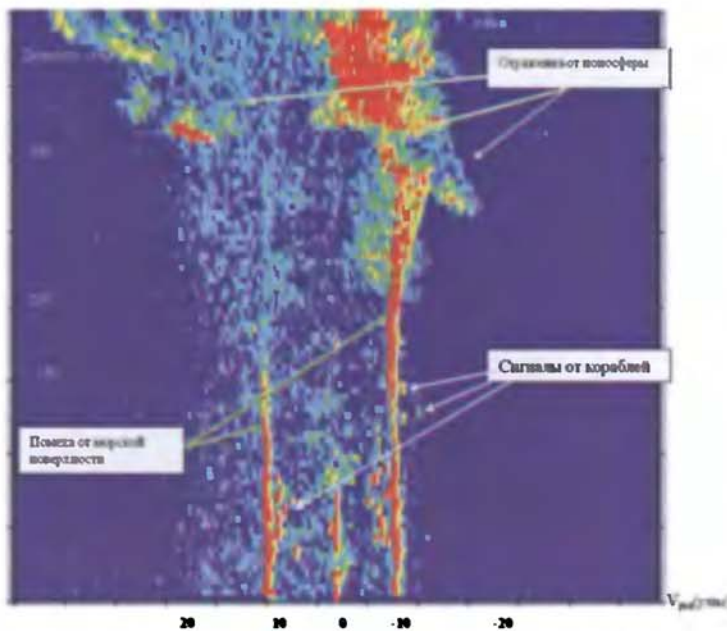


Рис. 8
Сигналы от кораблей, помеха от морской поверхности и отражения от ионосферы в переходное время суток

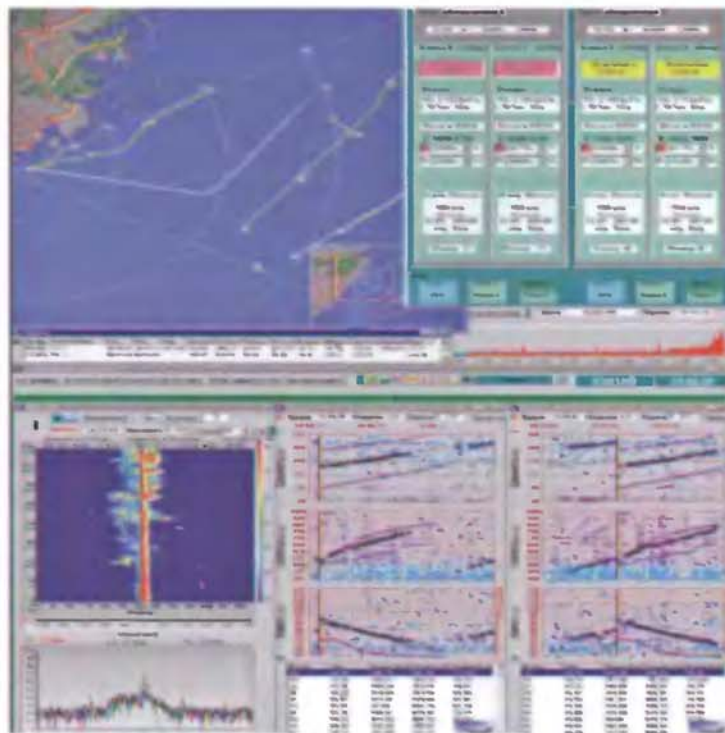


Рис. 9
Обнаружение самолетов в переходное время на фоне помех от моря и ионосферной помехи

ростями. По этой причине на обнаружение самолётов ионосферная помеха оказывает существенно меньшее негативное влияние, чем на обнаружение морских объектов.

Однако в переходное время суток дальность действия по воздушным объектам (вертолётам), летящим с малой скоростью, все же может несколько уменьшаться, так как в это время суток для подавления ионосферной помехи приходится работать на рабочих частотах, которые не оптимальны для обнаружения воздушных объектов типа вертолёта на максимальных дальностях.

Способы адаптации ЗГ РЛС ПВ к внешним условиям. Адаптация РЛС к активным помехам

Основным способом адаптации к активным помехам является работа РЛС на частотах с минимальным уровнем активных помех. Для выбора этих частот в состав РЛС входит специальный комплект аппаратуры и программ (тракт ПРК), который производит измерение панорамы активных помех на различных рабочих частотах в выбранном оператором ПЭП для каждого режима работы комплекса. По результатам анализа помеховой обстановки тракт ПРК автоматически выбирает резервную частоту (две частоты) с минимальным уровнем активных помех, на которую РЛС перестраивается автоматически или по команде оператора. В условиях повышенного уровня активных помех на всех частотах выбранного ПЭП оператор выбирает рабочие режимы комплекса и виды зондирующих сигналов с меньшей полосой зондирующего сигнала или назначает для работы другой ПЭП.

Адаптация РЛС к ионосферной помехе. Адаптация путём подбора диапазона оптимальных рабочих частот

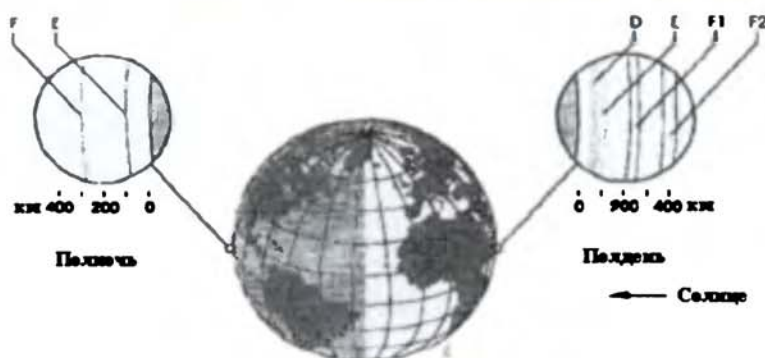


Рис. 10

Структура слоев ионосферы днем и ночью

На рис. 10 приведена структура слоев ионосферы для дневных и ночных условий работы радиолокатора. При работе радиолокатора днём на высотах порядка 80–100 км существует слой D, который поглощает электромагнитную энергию в низкочастотной области коротких радиоволн.

В ночных условиях работы этот слой отсутствует. В дневное время суток для подавления сигналов ионосферной помехи типа СОР комплекс может работать на критических частотах, на которых излучаемые сигналы пространственной волны не отражаются от верхних слоев ионосферы, так как они по-

гложатся слоем D, расположенным на высотах 60–80 км.

На **рис. 11** приведены результаты работы по обнаружению морских объектов в дневное время суток при работе на частотах в диапазоне 5,2–5,5 МГц. На этом рисунке видно, что на этих частотах помеха от ионосферы снижает максимальную дальность действия радиолокатора.

На **рис. 12** приведены результаты реальной работы по обнаружению морских объектов в дневное время суток, когда для уменьшения влияния ионосферной помехи использовались рабочие частоты в ПЭП №1, на которых излучаемые под большими углами места сигналы поглощались слоем D.

Из этих рисунков видно, что в дневных условиях применяемый метод позволил снизить влияние ионосферной помехи на дальность действия ЗГ РЛС ПВ.

В ночное время, когда слой D исчезает, с целью снижения негативного влияния отражений от ионосферы на обнаружение морских объектов в ночных условиях РЛС должна работать на максимально допустимых для обнаружения заданных классов объектов частотах, когда энергия пространственной волны проходит в космос через верхние слои ионосферы и не возвращается к Земле.



Рис. 11

Видна ионосферная помеха при работе по кораблю днем на частотах в ПЭП № 2

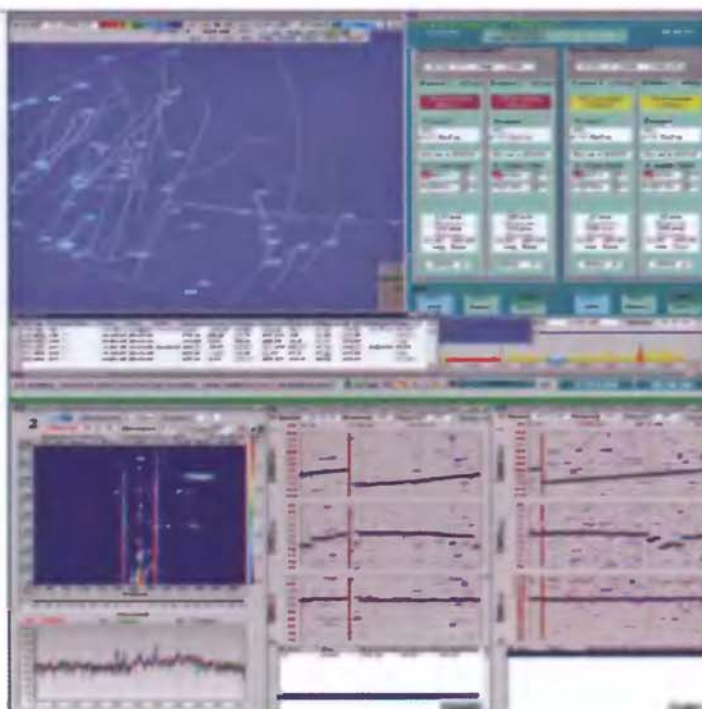


Рис. 12

Работа по морским объектам днем в ПЭП №1. Ионосферная помеха подавлена

Проведенные экспериментальные исследования показали, что указанные способы адаптации дают хорошие результаты в дневное и ночное время суток.

В переходное (особенно в период с 6.00 до 9.00 и с 16.00 до 22.00 местного времени) и ночное время суток, кроме регулярной помехи, иногда наблюдаются отражения от спорадического слоя E_s . Поэтому из-за воздействия ионосферной помехи, создаваемой отражениями от этого слоя ионосферы, дальность действия РЛС по кораблям может уменьшаться до 250 км, а при сильных возмущениях в ионосфере и наличии полупрозрачного слоя E_s — до 200 км. Таким образом, указанные выше способы позволяют ослабить негативное влияние ионосферной помехи на обнаружение морских объектов в дневных и ночных условиях, но не позволяют ее полностью подавить.

Поэтому необходимо продолжить исследования характеристик этой помехи и получать экспериментальные данные, необходимые для разработки способов адаптивного подавления ионосферной помехи, которые будут эффективными в различное время суток.

Способы адаптации комплекса помехам, создаваемым отражениями от морской поверхности

При работе комплекса по кораблям для подавления сигналов ВНЗ радиолокатор излучает широкополосные сигналы на четырех частотах, что уменьшает элемент разрешения по дальности и соответственно уменьшает уровни отражений от морской поверхности. Для подавления сигналов из дальней зоны на время прихода сигналов ВНЗ вход приёмников закрывается.

Выше отмечено, что отражения от морской поверхности оказывают негативное влияние на обнаружение морских объектов, радиальная скорость движения которых совпадает с диапазоном радиальных скоростей, находящихся в зоне, прилегающей к зоне доплеровских частот пиков брэгговских отражений первого и второго порядков. По опыту работы на ЗГ РЛС ПВ компонента рассеяния второго порядка, образующая континуум, превышает уровень активной помехи в дневное время на величину 15–20 дБ и практически совпадает с уровнем активных помех в ночное время, который выше уровня активной помехи в дневных условиях на 15–20 дБ. По этой причине при большом уровне активных помех в ночное время требуется увеличивать сквозной динамический диапазон приёмников, для чего в ночное время оператору рекомендуется вводить ослабления в тракты обнаружения и ПРК величиной 6–12 дБ по промежуточной частоте (ПЧ) или по 6 дБ по входу приёмников и по ПЧ.

В когерентной ЗГ РЛС ПВ различие сигналов от объектов и сигналов пассивной помехи (ПП) обратного рассеяния от морской поверхности основывается на различиях их доплеровских сдвигов частоты. Доплеровский сдвиг сигнала объекта пропорционален его радиальной скорости и рабочей частоте радара.

Поскольку в доплеровском спектре принимаемого сигнала пассивной помехи обратного рассеяния от морской поверхности доминируют два пика брэгговского резонансного рассеяния первого порядка, то в

зонах, прилегающих к брэгговским спектральным пикам, возникают слепые скорости, в которых сигнал от объекта маскируется сигналом ПП. Амплитуда и ширина спектральной линии брэгговских спектральных пиков связаны со скоростью приповерхностного ветра и морского течения. Помимо брэгговских пиков в доплеровском спектре присутствует спектральный континуум сигналов ПП, уровень которого зависит от скорости ветра. Он сравнительно невысок на частотах 3,5–5,0 МГц, но возрастает с ростом частоты и затрудняет обнаружение сигналов, отраженных низкоскоростными объектами.

При полностью развитом морском волнении амплитуда сигналов пассивной помехи превышает уровень внешних помех на практически всех дальностях действия комплекса. В этих условиях сигналы от морских объектов обнаруживаются на фоне пассивной помехи от моря. Величина отношения сигнал / пассивная помеха определяется ЭПР объекта, удельной эффективной поверхностью рассеяния моря, которая зависит от высоты волнения на море, ширины элемента разрешения по дальности и по азимуту и дальности до объекта. Для увеличения отношения сигнал / пассивная помеха необходимо уменьшать ширину элемента разрешения по дальности, что достигается за счёт увеличения полосы излучаемого сигнала. То есть при работе по морским объектам на фоне пассивной помехи следует использовать рабочий режим с максимальной полосой излучаемых сигналов.

Другим способом борьбы со слепыми скоростями, обусловленными брэгговскими отражениями 1-го порядка, является использование разнесенных рабочих частот.

На **рис. 13** приведены зависимости зоны слепых скоростей сигналов от кораблей от рабочей частоты РДС. Из этого рисунка видно, что при правильном выборе двух рабочих частот (желательно вблизи левой и правой границ ПЭП или в двух ПЭП) можно существенно уменьшить результирующую зону слепых скоростей.

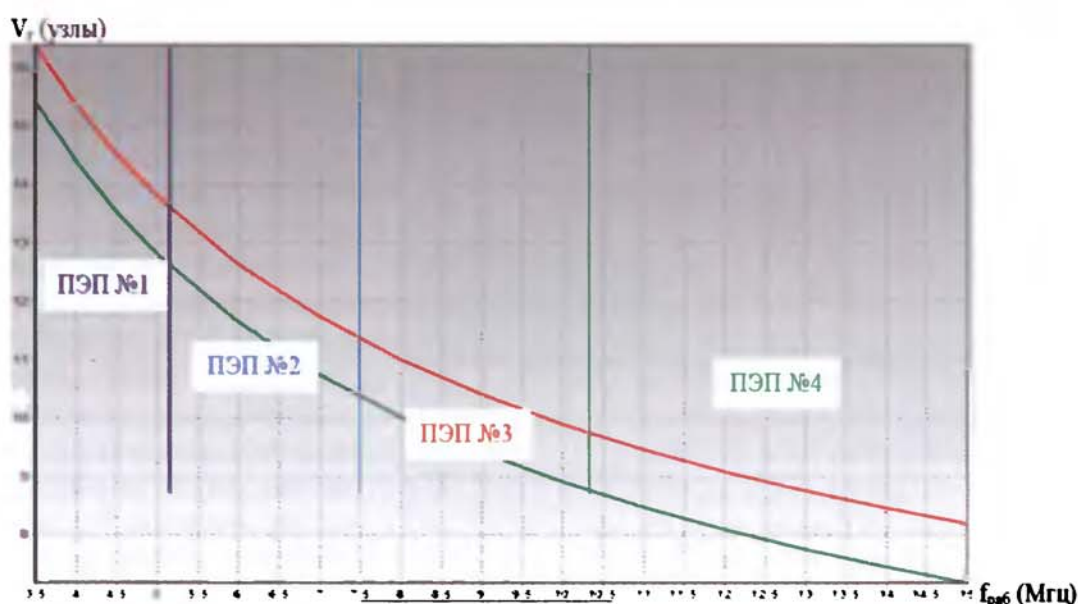


Рис. 13
Зависимость зоны слепых скоростей сигналов от кораблей от рабочей частоты

Из **рис. 14**, где показаны сигналы, отраженные от морской поверхности, ионосферы, сигналы от метеоров и от морского объекта при работе РЛС на двух частотах, видно, что при работе на частоте f_1 сигнал от морского объекта контрастно выделяется на фоне помех.

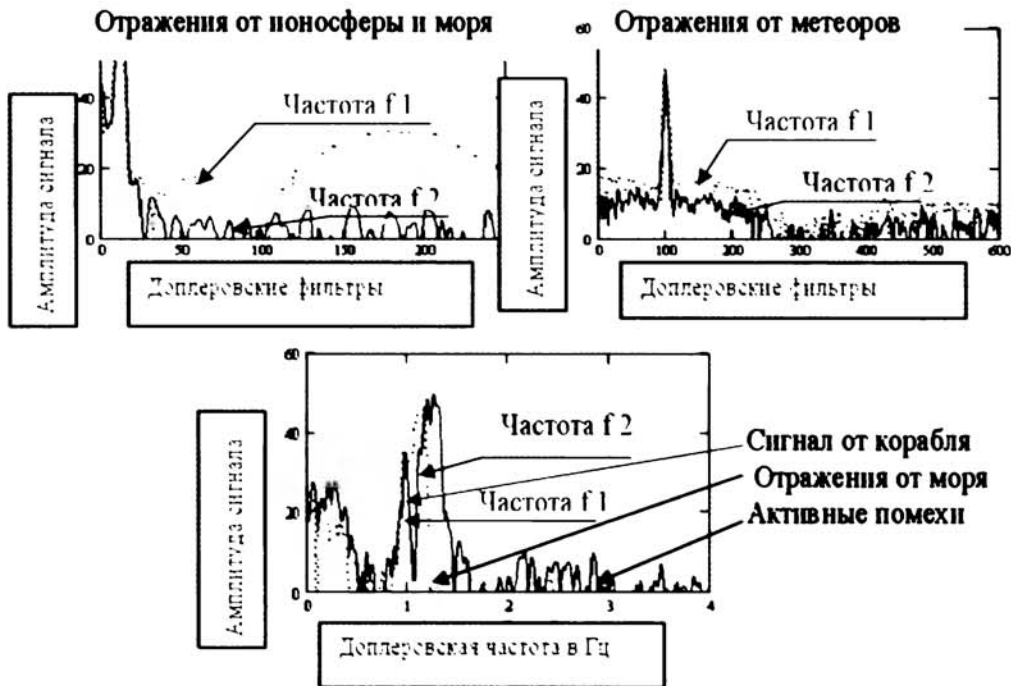


Рис. 14
Частотные зависимости сигналов
от морской поверхности, ионосферы, метеоров и кораблей

Таким образом, основным способом борьбы с пассивной помехой, создаваемой отражениями от морской поверхности, является работа на двух рабочих частотах в выбранной ПЭП.

При работе по морским объектам в выбранной оптимальной ПЭП целесообразно одну рабочую частоту выбирать в низкочастотной области ПЭП, а вторую — в высокочастотной области рабочих частот выбранной ПЭП. При работе в двух ПЭП одна частота выбирается в одном ПЭП, а вторая частота — в другом ПЭП с необходимым для исключения слепых скоростей разносом.

В РЛС ПВ реализованы команды, позволяющие реализовывать этот режим работы с автоматическим поиском резервных частот в верхней и нижней частях ПЭП.

Выше отмечено, что самолёты обнаруживаются обычно на фоне активных помех, так как отражения от морской поверхности и от ионосферы на обнаружение самолётов влияют слабо. Поэтому для повышения устойчивости сопровождения самолётов рабочие частоты первого и второго импульсов следует выбирать с небольшим разносом (порядка 200–500 КГц).

Итак, оптимизация характеристик обнаружения соответствующих классов объектов достигается за счёт работы ЗГ РЛС ПВ в оптимальных режимах на оптимальных рабочих частотах.

Заключение

1. Поскольку «Стелс»-технология в диапазоне рабочих частотах ЗГ РЛС ПВ неэффективна, создаваемые ЗГ РЛС ПВ могут найти широкое применение в системе воздушно-космической обороны, обеспечивая всевысотное обнаружение самолётов и гиперзвуковых летательных аппаратов.
2. Испытания отечественных ЗГ РЛС подтвердили эффективность контроля морской и воздушной обстановки с их помощью и показали их преимущества (небольшая стоимость контроля 1 кв. км зоны освещения, непрерывность наблюдения в реальном времени при любой погоде, малое количество обслуживающего персонала и др.) при контроле деятельности на море и в воздухе в пределах 200-мильной экономической зоны.
3. В созданных ЗГ РЛС поверхностной волны реализованы возбуждающие и принимающие поверхностную волну антенные системы и способы адаптации к помехам. Эти РЛС обнаруживают за линией радиогоризонта на недостижимых для СВЧ радаров дальностях морские и воздушные объекты и объекты, находящиеся в зоне прямой видимости.
4. Реализованные режимы работы РЛС, виды зондирующих сигналов и алгоритмы адаптации позволили стабилизировать характеристики радиолокатора при изменении внешней обстановки.
5. Используемый в ЗГ РЛС ПВ диапазон рабочих частот оказался достаточным для одновременного обнаружения морских объектов и самолётов, летящих на малой и большой высоте.
6. Основной проблемой, требующей дальнейших исследований, является нестационарная ионосферная помеха, возникающая в переходные периоды времени, при восходе и заходе Солнца. Целесообразно провести также работы по обнаружению малоразмерных высокоскоростных целей.



СОРОКИН В.А.,
главный конструктор РЛС
«Крона», РЛС «Познание»
ОАО «НПК «НИИДАР»

РАДИОЛОКАЦИЯ НА СЛУЖБЕ КОНТРОЛЯ КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА

В марте 2001 г. красочным зрелищем над акваторией мирового океана завершился сход с орбиты комплекса «Мир». Вышедший из строя космический «долгожитель», обесточенный и лишённый горючего, сгорел в атмосфере, а крупные обломки его, не причинив никому вреда, ушли на океанское дно... Десятки офицеров и инженеров, следивших за молчаливым космическим объектом на каждом витке, были удовлетворены выполненной задачей. Радиооптический комплекс «Крона» обеспечил стратегические центры России требуемой для уточнения точки падения информацией. Других средств, способных это сделать, в нашей стране просто не было.

Приведённый случай нуждается в пояснениях. Работающие и исправные спутники, плотно «заселившие» ближний космос, подконтрольны своим создателям. Параметры их орбит известны и внесены в каталоги. В тех же каталогах (ежедневно дополняемых) хранится и информация о спутниках-«молчунах», космическом мусоре, появившемся в ходе неудачных экспериментов, и обо многом другом.

Сход с орбиты каталогизированных объектов, как правило, безопасен. Относительно небольшие и экологически чистые, они сгорают в атмосфере, не причиняя вреда жителям планеты. Аппараты, не потерявшие управления, при этом также могут быть сориентированы соответствующим образом. Проблемы возникают в мирное время в других, довольно редких случаях — например, при сходе с орбиты крупных неуправляемых объектов, оснащенных солнечными батареями большой площади.

Плавно погружаясь в атмосферу, такие объекты на каждом витке меняют орбитальные характеристики. Система уравнений, описывающая их движение, нуждается в постоянном уточнении. Значит, кто-то должен облучить данный объект и, получив ответные сигналы, выделить из них нужную информацию. С такого случая мы и начали рассказ о радиооптическом комплексе контроля космического пространства. А если с орбиты сходит спутник с ядерной энергетической установкой или никем не признанный «молчун», то внимание к нему будет повышенным. К счастью, эвакуировать города человечеству до сих пор не приходилось — возможности для безопасного исследования космоса пока огромны. Но (и это другая сторона медали) засорённость космического пространства

продуктами нашей деятельности уже сегодня при запуске дорогостоящих (и застрахованных) аппаратов заставляет заглядывать в существующие каталоги.

Военные аспекты проблемы контроля ближнего космоса также существуют – одно только стремление землян следить друг за другом «сверху» является темой отдельного разговора.

История создания радиооптического комплекса «Крона» восходит к началу освоения космического пространства.

Наблюдения первых ИСЗ изменили представления о радиолокационном сигнале как случайном стационарном процессе и послужили причиной создания нового направления в теории радиолокационного распознавания целей.

Радиолокационные наблюдения за вторым искусственным спутником земли, сделанные Д. Бартоном в 1958 г., показали очевидную ценность некоординатной информации – зависимость эффективной поверхности рассеяния КО от времени (сигнатуры).

По участку А была определена длина спутника, по повторяющимся лепесткам Б, лепесткам В и Г – наличие отражающих элементов, удалённых друг от друга на конкретное расстояние.

В результате анализа была сделана первая попытка восстановления внешнего вида 2-го спутника.

Методики анализа радиолокационных сигнатур после этого надолго исчезли из открытой печати.

В 1974 г. постановлением ЦК и Совета Министров было задано создание радиооптического комплекса распознавания искусственных спутников Земли. Многодиапазонный комплекс позволял не только получать радиолокационные сигнатуры в сантиметровом и дециметровом диапазонах длин волн, но и оптические изображения в любое время суток, используя лазерный подсвет объекта и узкополосную фильтрацию принимаемого излучения.

Эскизное проектирование проводилось под руководством ЦНПО (МАК) «Вымпел» (главный конструктор А.А. Курикша) с последующей передачей тематики в целом в ОАО НПК НИИДАР, а оптической части – в ЦКБ «Астрофизика». На начальном этапе создания комплекса прорабатывали разные схемотехнические решения, в результате которых был принят вариант, изображенный на **рис. 1**.

Главным конструктором комплекса «Крона» в середине 1970-х гг. был назначен В. П. Сосульников. Под его руководством и была создана и поставлена в эксплуатацию первая очередь комплекса «Крона».

При этом решались сложные технические задачи по разработке и изготовлению полноповоротной ФАР дециметрового диапазона, приёмопередающего интерферометра, командно-вычислительного комплекса. Несмотря на большое внимание к тематике из-за недостатка сил и средств работы продвигались медленнее, чем планировалось, но были результативны: было достигнуто устойчивое обеспечение центра контроля космического пространства координатной и некоординатной информацией по низкоорбитальным объектам.

В комплекс «Крона» был включён и (наряду с другими методами) успешно реализован сложный программно-реализованный алгоритм, позволяющий в любых погодных условиях получить данные о внешнем облике объекта и параметрах его «поведения» как без использования

широкополосных зондирующих сигналов, так и при отсутствии возможности использования оптических средств. В условиях резко растущей «загрузки» эфира задачами связи и вещания, борьбы за выделение частотного диапазона данный алгоритм обработки получил второе дыхание.

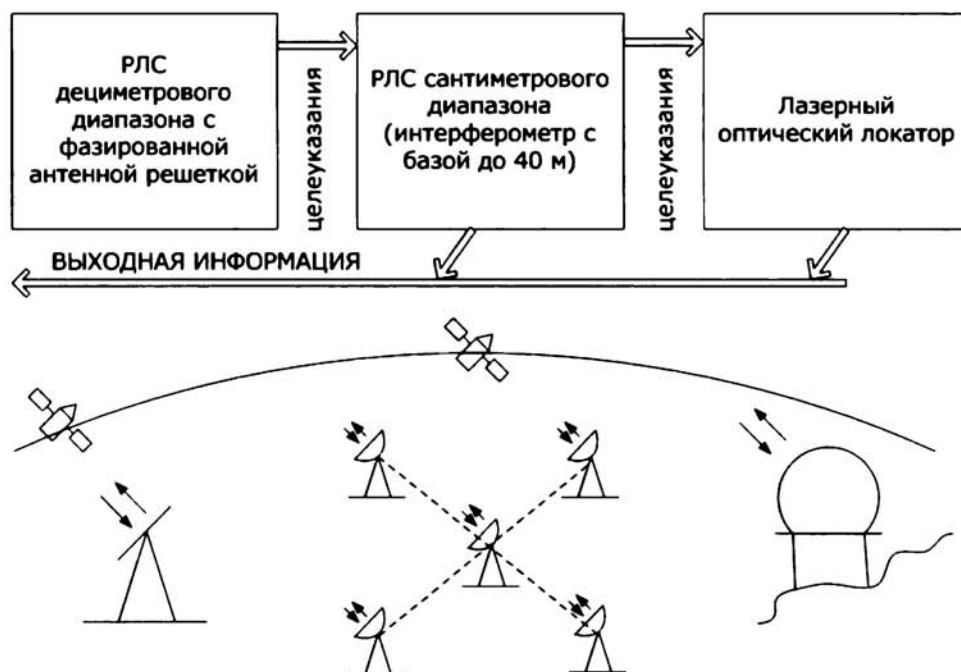


Рис. 1

Необходимость работы по целеуказаниям разного типа, поступающим из других источников, привела к выделению нескольких отдельных режимов работы комплекса. В каждом режиме определяется совокупность средств и функциональных программ комплекса, выполняющих конкретную задачу, а переход всего комплекса из одного режима в другой осуществляется автоматически, в реальном времени сопровождения конкретного космического аппарата.

Последовательная реализация режимов работы обеспечивает всю полноту координатной и некоординатной информации.

Внешний вид комплекса известен по фотографиям (рис. 2). Прежде всего, наверное, обращает на себя внимание антенный пост, на котором находится фазированная антенная решетка дециметрового диапазона длин волн. В пилоне находится опорно-поворотный механизм. В отличие от своих «близких родственников» — средств предупреждения о ракетном нападении фазированная антенная решётка вращается во всей верхней полусфере с высокими скоростями — время пролёта низкоорбитального спутника исчисляется минутами.

О конструктивных особенностях комплекса распознавания «Крона» можно рассказывать долго. Но прежде всего хотелось бы отметить, что это специализированное средство контроля космического пространства, и многое отличает его от средств предупреждения о ракетном нападении: другая конструкция, другое математическое обеспечение. Совокупность РЛС предупреждения, расположенных по периметру государства,

способствует решению задач контроля космического пространства, но не решает специализированных задач.

Радиооптический комплекс распознавания космических объектов «Крона» задавался к созданию в 1970-е гг. В то время мощные научно-исследовательские институты военно-промышленного комплекса после детальной проработки выдавали тактико-технические задания, рассчитанные на многие десятилетия вперёд. Ряд заданных характеристик фактически не имел возможности для немедленной реализации — эти возможности должны были появляться в ходе параллельно развёрнутых научно-исследовательских работ. Можно предположить, что такая особенность организации НИОКР обеспечила известный парадокс: образец на вооружении уже служит исправно, а всё «что-то» не завершено, и это «что-то» будет существовать и завтра, и послезавтра.



Рис. 2

Радиооптический комплекс распознавания космических объектов «Крона»

На рубеже веков стало ясно, что изменившийся уровень вычислительных средств, успехи адаптивной оптики, заметный прогресс в технологии радиолокационных узлов способны дать комплексу второе дыхание. Разработку оптической части комплекса взял на себя Научно-исследовательский институт прецизионного приборостроения (ныне — НИИ СМК), полностью изменив облик лазерного оптического локатора. Замена вычислительных средств командно-вычислительного пункта, завершаемая в настоящее время, обеспечит устойчивое функционирование РЛС, детальный анализ сигнатур.

Перспективной является также возможность использования сигналов со сверхразрешением как по углам, так и по дальности.

В ряде случаев существует возможность построения радиоизображений низкоорбитальных космических аппаратов по данным, получаемым с помощью узкополосных сигналов. При этом не оценивается эффективная поверхность рассеяния объекта в целом, а проводится визуализация локальных центров рассеяния протяженных объектов. Трёхмерные изображения могут быть получены при введении широко-

полосного сигнала, что достаточно легко реализуется при современном уровне технологии.

Совместный анализ сигнатур, радиолокационных и оптических изображений позволит приступить к дальнейшему развитию методов распознавания низкоорбитальных космических аппаратов.

Комплекс «Крона» сконструирован с учётом возможности глубокой модернизации в течение длительного периода эксплуатации. С учётом роста «заселённости» ближнего космоса, широкого появления класса малоразмерных объектов и ряда других проблем модернизация является актуальной задачей. Над такими задачами и трудится сейчас коллектив разработчиков комплексов «Крона».

Литература

- Бартон Д. Распознавание целей // Зарубежная радиоэлектроника. — 1962. — № 7.
- Гаврик А., Андреев В., Хапланов С., Сорокин В., Котов А., Гаврик Ю. Построение радиоизображений низкоорбитальных спутников по данным радиолокации узкополосным сигналом // Радиотехника и электроника. — 2000. — Т. 45. — № 7.
- Ладыгин А. Анализ сигнатур. — М.: Университетская книга, 2008.
- Первов М. Системы ракетно-космической обороны России создавались так. — М.: АвиаРус-XXI, 2003.
- Хуторовский З. Перспективные методы исследования антропогенного загрязнения ближнего космоса // Сб. «Проблемы загрязнения космоса». — М.: Косинформ, 1993.



СВЕТЛОВ В.Г.,
генеральный конструктор
ОАО «МКБ «Факел» им. ака-
демика П.Д.Грушина, док-
тор технических наук, про-
фессор

ЗЕНИТНЫЕ УПРАВЛЯЕМЫЕ РАКЕТЫ МКБ «ФАКЕЛ»

Ракеты для Войск ПВО страны

Машиностроительное конструкторское бюро «Факел» (ОКБ-2) как самостоятельное предприятие образовано в соответствии с постановлением Совета Министров СССР от 20 ноября 1953 г. № 2838-1201 «О создании передвижной системы зенитного управляемого ракетного оружия для борьбы с авиацией противника» («Системы-75»). Именно этим документом на последующие десятилетия было определено место предприятия как головного разработчика зенитных управляемых ракет ПВО и, в дальнейшем, противоракет для систем ПРО.

В процессе работы над «Системой-75», а также и в дальнейшем, при создании зенитных ракетных средств для ПВО страны, МКБ «Факел» тесно взаимодействовало с КБ-1 (КБ «Стрела» — ЦКБ «Алмаз» — НПО «Алмаз» им. А.А. Расплетина), ставшим головным разработчиком систем ПВО.

Первая из созданных — ракета 1Д (В-750) для «Системы-75» стала своего рода визитной карточкой МКБ «Факел». Если успеху в создании большинства элементов системы способствовало широкое использование многих технических решений, ранее отработанных на системе С-25,



Рис. 1
Ракета 1Д комплекса С-75 на пусковой установке

то для того, чтобы создать ракету 1Д, в МКБ «Факел» был принят и в дальнейшем успешно реализован ряд передовых для того времени технических решений. В том числе двухступенчатая схема ракеты с твердотопливным ускорителем и маршевой ступенью с ЖРД, усовершенствованный метод наведения ракеты на цель, наклонный старт с наводимых в направлении цели пусковых установок, нормальная аэродинамическая схема и т. д. В результате ракета 1Д, при практически одинаковой с ракетой системы С-25 зоной поражения воздушных целей по дальности и высоте, получилась почти вдвое легче.

В декабре 1957 г. первая зенитная ракета МКБ «Факел» под обозначением 1Д (SA-2 Guideline по классификации НАТО) была принята на вооружение Войск ПВО страны и ПВО Сухопутных войск. Позже на предприятии и в его филиалах создали ряд модификаций этой ракеты (11Д, 13Д, 20Д и т. д.), которые находились и находятся на вооружении десятков государств мира. В некоторых странах — Китае, Египте, Иране и др. — также проводилась ее модернизация.

Ракеты комплекса С-75 первыми среди зенитных ракет в мире поразили реального воздушного противника. Это произошло 7 октября 1959 г. в небе над Китаем, когда был сбит высотный самолёт-разведчик KB-57Э. А 1 мая 1960 г. около г. Свердловска был сбит американский самолёт-разведчик «Локхид» 11-2 с пилотом Пауэрсом.

Яркой страницей в биографии ракет комплекса С-75 стало их использование во время войны во Вьетнаме. Там с 24 июля 1965 г. ими были уничтожены тысячи американских бомбардировщиков, штурмовиков и истребителей.

Столь же широкою известность получила двухступенчатая твердотопливная ракета малой дальности 5В24 (SA-3 Goa по классификации НАТО), создание которой началось в 1956 г. Изначально эта ракета разрабатывалась для корабельного ЗРК М-1, однако позже было принято решение о создании на её основе унифицированной зенитной ракеты, которая могла бы применяться как в составе корабельного комплекса М-1, так и в составе передвижного ЗРК С-125 Войск ПВО.



Рис. 2
Ракета 5В24 комплекса С-125
на пусковой установке

Решение столь сложной задачи стало возможным благодаря использованию в этой ракете только твердотопливных двигательных установок, а также значительному уменьшению габаритов самой ракеты, для чего были применены раскрываемые после старта стабилизаторы, установленные на ускорителе ракеты. При этом конструкторам МКБ «Факел» удалось обеспечить совместимость ракеты с наземными и корабельными системами наведения и управления, пусковыми установками, различным оборудованием и вспомогательными средствами.

Принятая на вооружение в июне 1961 г. ракета 5В24 в дальнейшем неоднократно модернизировалась. Различные её варианты с успехом применялись в боевых действиях во Вьетнаме и на Ближнем Востоке. Они получили самую высокую оценку воен-

ных, технических специалистов. Последним по времени стало использование этих ракет при отражении воздушной агрессии против Югославии в 1999 г. Одним из самых запомнившихся эпизодов той войны было уничтожение ракетой этого типа истребителя F-117A, созданного с использованием «Стелс»-технологии.

Ракета 5В24 (как и её модификации), созданная на базе технических решений, отработанных для первых отечественных зенитных ракет, эксплуатируется уже в течение нескольких десятилетий. И, тем не менее, по своим эксплуатационным показателям она приемлема для использования в составе современных средств ПВО. Это обстоятельство позволяет в настоящее время вести работы по её модернизации для поддержания боевых возможностей ЗРК С-125 на уровне, который отвечает современным требованиям борьбы со средствами воздушного нападения. Сейчас в МКБ «Факел» выполняется программа модернизации ракет этого типа, что позволит повысить эффективность их использования против современных и перспективных самолётов, вертолёт и высокоточных ракетных средств.

Очень важная веха в истории предприятия — создание ракет для системы большой дальности. Потребность в такой системе возникла и приобрела особую актуальность в конце 1950-х гг., с появлением термоядерного оружия и интенсивным развитием сверхзвуковой авиации и управляемых ракет.

За рубежом ЗУР для комплексов большой дальности типа «Бомарк», «Талос» и «Бладхаунд» разрабатывались на основе прямооточных воздушно-реактивных двигателей. Опираясь на зарубежный позитивный опыт, а также на работы ОКБ-670 М.М. Бондарюка, имевшего к тому времени более чем десятилетний опыт разработок прямооточных воздушно-реактивных двигателей, в СССР в 1958 г. приступили к проектированию зенитных ракет с прямооточными двигателями.

Прежде всего были проведены исследования по ракете для передвижной системы С-75. Они позволили выявить основные технические предпосылки, на базе которых стал возможным переход к решению сложных научно-технических и конструкторских задач, связанных с созданием зенитной ракеты большой дальности.

Модернизация комплекса С-75 — создание ЗРК С-75М — была задана постановлением ЦК КПСС и СМ СССР от 4 июня 1958 г. № 608-293 и последующим постановлением СМ от 16 сентября 1959 г. № 1048-499. Предусматривалось расширение зоны поражения, повышение помехозащищённости и точности наведения комплекса с новыми ракетами двух типов. Предписывалось представить на совместные испытания в III квартале 1959 г. ракету В-755 (20Д), оснащённую твердотопливным стартовым ускорителем и ЖРД на маршевой ступени, а во II квартале 1960 г. — полностью твердотопливную двухступенчатую ракету В-757 (17Д).

Разработка ракеты В-755 (20Д) задумывалась как глубокая модернизация В-750ВН с заменой практически всех основных систем и агрегатов. Предусматривалось применение помехоустойчивого радио-взрывателя, приспособленных к новой станции наведения ракет блоков бортовой аппаратуры радиоуправления и радиовизирования, нового автопилота, усовершенствованного двухкомпонентного ЖРД с регулируемой тягой и более мощного стартового ускорителя. Последнее опреде-



Рис. 3

Ракета 17Д на пусковой установке

лило необходимость создания также и новой пусковой установки, способной выдержать более мощное воздействие струи продуктов сгорания нового стартовика.

Разработка ракеты В-757 (17Д) по существу являлась созданием принципиально нового изделия и ставила своей целью исключение из ракеты достаточно опасного, как показал опыт эксплуатации ракеты 1Д, жидкого топлива. Уровень развития твердотопливной техники, освоенной отечественной промышленностью к концу 1950-х гг., практически исключал возможность создания ракеты с требуемыми характеристиками на базе традиционных

конструктивно-схемных решений. Поэтому МКБ «Факел» (в то время ОКБ-2 МАП) приняло схему с использованием на маршевой ступени ракеты В-757 прямоточного двигателя на твёрдом топливе. Ракета 17Д из-за наличия в ее составе комбинированного ракетно-прямоточного двигателя по своей форме и компоновке значительно отличалась от всех ракет семейства В-750. Тем не менее, для ее пусков использовались уже имевшиеся на полигоне наземные средства с незначительной доработкой, включая и пусковую установку.

Максимальная скорость полёта ракеты при испытаниях соответствовала $M=3,7$. Дальность активного участка полёта достигала 40 км при средней скорости 820–860 м/с. Максимальная достигнутая ракетой высота полёта с работающим двигателем составляла 23 км.

Сравнительный анализ ТТХ и конструкции ракет 20Д и 17Д показал, что, несмотря на сохранение жидкостной двигательной установки, в ракете 20Д удалось получить те же ТТХ при более простой и технологичной конструкции, сохраняющей преемственность с предыдущими конструкциями ракет семейства В-750.

Дальнейшие работы по ракетам с твердотопливными прямоточными двигателями проводились в рамках постановления ЦК КПСС и СМ СССР от 4 июля 1959 г. № 735-338 по разработке ракеты В-757Кр (ЗМ10) для ЗРК 2К11 «Круг».

Первоначальные варианты ракеты внешне не отличались от 17Д — такое же длинное центральное тело и корпус РПДТТ с размещёнными на нём крыльями и рулями. При проработке различных вариантов компоновки в МКБ «Факел» (ОКБ-2 МАП) была предложена и испытана в стендовых условиях твердотопливная ракетно-прямоточная двигательная установка с кольцевым диффузором (как у 17Д) и восемью небольшими двигателями в камере сгорания. Их установка преследовала двойную цель: с одной стороны, они должны были выполнять роль стартового ускорителя, с другой — быть горючим для РПДТТ. Корпуса из магниевых сплавов почти полностью выгорали при работе РПДТТ. Эта ракета получила обозначение 18Д. Её компоновка стала прообразом широко применяющейся в настоящее время «интегральной» схемы расположения ПВРД и разгонных блоков на ракетах различного назначения.

Продолжение работ в направлении создания ракет для системы большой дальности привело к созданию трёхступенчатой ракеты 22Д для передвижной системы С-175.

Ракета была оснащена блоком из четырёх ракетно-прямоточных двигателей — как твердотопливных (разработанных в МКБ «Факел»), так и жидкостных (разработки КБ М.М. Бондарюка). На испытаниях, проводившихся в середине 1960-х гг., ракета 22Д достигла скорости 4,8М и высоты полёта более 30 км, что для того времени являлось значительным достижением.



Рис. 4

Ракета 22Д на пусковой установке

Одновременно в 1956–1957 гг. в МКБ «Факел» проводились работы по изучению возможности создания для передвижной зенитной ракетной системы С-175 ЗУР В-850, обладавшей большей дальностью действия, чем созданная к тому времени ракета семейства В-750.

В-850 представляла собой двухступенчатую ракету, выполненную по нормальной аэродинамической схеме, с установленными в передней части ракеты дестабилизаторами, с четырьмя треугольными крыльями большого удлинения, рулями и стабилизаторами. Старт ракеты — наклонный, с пусковой установки, наводимой по углу и азимуту места. Управление полётом ракеты и наведение её на цель осуществлялось по радиокomандам, которые поступали от наземной станции наведения.

Первая ступень В-850 представляла собой четыре твердотопливных двигателя, установленных на маршевой ступени ракеты между крыльями. Вторая ступень оснащалась жидкостной двигательной установкой с насосной системой подачи компонентов топлива в двигатель. Конструктивно маршевая ступень В-850 состояла из ряда отсеков, в которых расположены радиовзрыватель, боевая часть, блоки бортовой аппаратуры, баки с компонентами топлива, жидкостный ракетный двигатель, агрегаты управления рулями ракеты, приёмник команд управления.

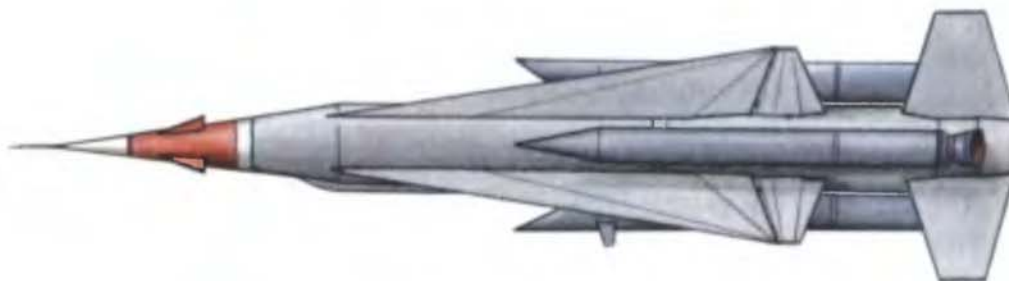


Рис. 5

Рисунок ракеты В-850

Проектные работы по ракете В-850 позволили выявить основные технические предпосылки, на базе которых стал возможным переход к решению сложных научно-технических и конструкторских задач, связанных с созданием зенитной ракеты 5В21 для системы С-200.

В соответствии с первоначальными требованиями ракета должна была поражать воздушные цели, находящиеся на дальностях свыше 150 км и двигающиеся со скоростями до 3500 км/час на высотах до 35 км. Для поражения целей на такой дальности впервые в практике отечественного ракетостроения было применено самонаведение с помощью радиолокационной полуактивной головки. Одновременно был использован и ряд других новшеств.

Принятая на вооружение в феврале 1967 г. ракета 5В21 (SA-5 Gammon) позволила Войскам ПВО страны достичь качественно нового уровня. Создание дальнобойной ракеты — один из главных факторов, заставивших противника изменить тактику воздушных операций, что наглядно продемонстрировали военные конфликты 1970–1980-х гг.



Рис. 6
Ракета 5В21 на пусковой установке

Глубокая модернизация ракеты 5В21 была выполнена в 1973 г. Основные направления модернизации: установка более совершенных элементов бортовой аппаратуры, нового бортового источника питания, ампулизированной маршевой двигательной установки. Модернизация позволила значительно увеличить зону поражения воздушных целей по дальности и высоте, повысить эффективность поражения высокоскоростных целей.



Рис. 7
Экспериментальная ракета 5В21 с ГПВРД
на пусковой установке

В ноябре 1991 г. один из вариантов этой ракеты стал первой в мире ракетой-лабораторией, на борту которой был испытан первый в мире водородный гиперзвуковой прямоточный воздушно-реактивный двигатель, созданный специалистами Центрального института авиационного моторостроения (ЦИАМ). Было проведено 5 пусков. В последнем пуске ракета с работающим ГПВРД пролетела 120 сек со скоростью 6,5М на высоте

33 км. Анализ телеметрии показал, что в ГПВРД достигнуто горение в сверхзвуковом потоке, а также тяга, преобладающая над аэродинамическим сопротивлением. По словам специалистов ЦИАМа, это было наиболее длительное известное время работы ГПВРД в полёте. С помощью ГПВРД американский X-43 работал только 10 сек.

1970–1980-е гг. для МКБ «Факел» были временем штурма новых вершин. Именно тогда на предприятии была создана серия унифицированных зенитных ракет, предназначенных для использования в составе системы ПВО С-300П (SA-10 Gramble), корабельного ЗРК «Риф» и их последующих модификаций. Эти ракеты — наиболее яркие представители нового поколения зенитного ракетного оружия.

В процессе создания первой ракеты в этой серии — 5В55 — на предприятии глубоко проанализировали весь предыдущий опыт, учли тенденции развития ракетной техники в мире. Проведение значительного объёма исследований потребовалось для того, чтобы создать ракету, имеющую:

- минимальное время реакции;
- повышенную боеготовность;
- минимальную ближнюю границу пуска;
- высокую помехозащищённость;
- способность выполнять свои функции в любых погодных и климатических условиях;
- максимальную скорострельность;
- высокую эксплуатационную надёжность;
- простую систему перезарядки.

Обладая всеми этими качествами, ракета должна была также оптимально отвечать требованиям крупносерийного производства.

Создание ракеты, обладающей столь разнородными, а зачастую и противоречивыми свойствами, потребовало пересмотра уже устоявшихся подходов к проектированию зенитных ракет, всестороннего критического анализа этих подходов, использования принципиально новых технических, конструкторских и технологических решений. Одним из важнейших достижений стало создание транспортно-пускового контейнера (ТПК) для ракеты, в котором проходит весь цикл её существования — от сборки на заводе до пуска. Исследовав все виды старта из ТПК, «Факел» проявил себя подлинным пионером, применив катапультирующее устройство для обеспечения вертикального старта ракеты из контейнера. Именно такой способ пуска был выбран для 5В55 и её последующих модификаций.

Особо следует отметить впервые реализованный в отечественной ракетной технике принцип обеспечения гарантированной надёжности ракеты в течение всего срока бесперебойной эксплуатации в войсках и на флоте.



Рис. 8
Старт ракеты 5В55 из ТПК

В 1979 г. 5В55 была принята на вооружение. Это событие стало началом радикального перевооружения Войск ПВО страны. Возможности Войск ПВО ещё больше возросли после принятия на вооружение в начале 1990-х гг. следующей в серии зенитной управляемой ракеты, разработанной в МКБ «Факел», — 48Н6. По своей конструкции ракета 48Н6 аналогична ракете 5В55, имеет практически равные с ней габариты и массу. Для её эксплуатации используется цилиндрический ТПК тех же размеров. Однако характеристики 48Н6 значительно выше, чем у предшественницы: почти вдвое возросла дальность полёта, увеличилась эффективность поражения самых разнообразных целей, в том числе самолётов стратегической, тактической и морской авиации, стратегических крылатых ракет, авиационных ракет, тактических и оперативно-тактических баллистических ракет, беспилотных летательных аппаратов во всём диапазоне условий их боевого применения.

При наведении ракеты используется принцип сопровождения цели через саму ракету. Осколочно-фугасная боевая часть большой мощности в сочетании с высокими перегрузками, которые способна выдерживать ракета, обеспечивают эффективное поражение целей, в том числе интенсивно маневрирующих.

Дальнейшее развитие ракет этого семейства шло, с одной стороны, в направлении дальнейшего увеличения дальности действия зенитных управляемых ракет, прежде всего, по носителям средств высокоточного оружия, самолётам дальнего радиолокационного обнаружения и управления, самолётам-помехопостановщикам с целью обеспечения боевой и помеховой устойчивости группировок ПВО.

С другой стороны, развитие ракет этого семейства шло в направлении решения актуальной задачи обеспечения эффективной борьбы с тактическими и оперативно-тактическими баллистическими ракетами.

Для эффективного поражения баллистических ракет требовались высокоскоростные ЗУР, имеющие среднюю скорость полёта до нескольких км/сек и обеспечивающие в процессе перехвата физическое уничтожение цели или её боевой нагрузки на безопасных для обороняемого объекта расстояниях и высотах.

Именно такими качествами, например, обладает ракета большой дальности 48Н6Е2, разработанная в МКБ «Факел» для ЗРС С-300ПМУ-2 «Фаворит». В процессе испытаний этой ЗУР, проведенных в августе 1995 г., было неоднократно продемонстрировано инициирование боевой нагрузки баллистических ракет типа «Скад» боевым снаряжением ЗУР.

Для ЗУР, решающих задачу поражения средств ВТО, на первый план выходит ряд других требований. Массированное применение средств ВТО определяет необходимость наличия большого боекомплекта ЗУР на позициях ЗРК, снижения их массы, габаритов и стоимости. В связи с малыми размерами средств ВТО и высокой скоростью полёта на траектории движения необходимо создание для ЗУР малогабаритного управляемого боевого снаряжения, ориентированного на поражение целей «останавливающим» действием (разрушением конструкции), — при перехвате пилотируемых целей, и на поражение (нейтрализацию) боевой нагрузки — при перехвате беспилотных целей, в том числе БР и ВТО.

Управление осколочно-фугасным боевым снаряжением, понимаемое как обеспечение направленного в сторону цели выброса поражающих элементов боевого снаряжения, было достигнуто внедрением в

конструкцию боевого снаряжения системы многоточечного инициирования, которая обеспечила перераспределение энергии взрыва и метание основной части осколочного поля с повышенной скоростью в сторону цели.

Использование подобного способа управления боевым снаряжением ЗУР предполагало применение специальных алгоритмов расчёта времени срабатывания устройств инициирования, основанных на измерении размера цели, величины относительной скорости, углов встречи ракеты с целью, фазы и величины промаха, ориентации ракеты и её боевого снаряжения относительно цели в момент пролёта.

Эти обстоятельства, особенно при высоких скоростях сближения ЗУР с целью и относительно больших ошибках целеуказания, требуют наличия на борту ЗУР соответствующих высокоточных средств информационного обеспечения — как для наведения ЗУР с минимальным промахом относительно цели, так и для достижения высокой вероятности накрытия цели осколочным полем ЗУР.

Таким образом, сочетание рациональных алгоритмов наведения, позволяющих достичь повышенной точности наведения, обеспечение высокой вероятности накрытия осколочным полем ЗУР боевого снаряжения ВТО или баллистических целей позволило МКБ «Факел» в своих перспективных ракетах реализовать наивысшее качество поражения целей — уничтожение цели как летательного аппарата или боевого снаряжения цели непосредственно в момент перехвата.

При этом снижение величины промаха однозначно приводит к увеличению плотности осколочного поля и эффективности поражения цели. Однако при больших скоростях сближения ЗУР с целью (до 3–4 км/сек) время для высокоточного наведения ЗУР, как правило, ограничивается несколькими секундами. Это предъявляет особые требования к быстродействию контура управления ЗУР и принятию специальных мер по увеличению манёвренности ЗУР.

В связи с этим для ЗУР нового поколения всё более характерным становится применение комбинированных способов создания управляющих сил и моментов, которые сочетают в себе как аэродинамические, так и газодинамические способы. С этой целью на перспективных ракетах МКБ «Факел» устанавливаются специальные двигательные установки поперечного управления. Их использование для управления на завершающей фазе самонаведения позволяет уменьшить время реакции ЗУР в 10–15 раз и получить более высокую точность самонаведения.

Представителями такого нового поколения зенитных управляемых ракет являются ракеты 9М96Е и 9М96Е2 — одноступенчатые твердотопливные. Они выполнены по аэродинамической схеме «утка», с раскрываемым после старта свободно вращающимся хвостовым крыльевым блоком. Ракеты полностью унифицированы по составу бортового оборудования, боевому снаряжению, конструкции и отличаются только размерами двигательных установок.

Конструктивно ракеты 9М96Е и 9М96Е2 состоят из нескольких отсеков, в которых расположены система активного самонаведения, агрегаты управления рулями, система газодинамического управления, интеллектуальное управляемое боевое снаряжение, блоки бортовой аппаратуры, твердотопливный ракетный двигатель, приёмник команд коррекции наведения.

Старт ракет — вертикальный, с помощью газодинамического устройства старта, без предварительного разворота пусковой установки в сторону цели. После выхода ракеты из ТПК, перед запуском разгонно-маршевого двигателя она разворачивается в требуемом направлении с помощью специальной газодинамической системы, скомплексированной с аэродинамическими рулями. Это существенно упрощает систему управления ракетой, которая в данном случае становится нечувствительной к действующему в конкретный момент времени способу создания управляющих сил и моментов.

Управление полётом ракеты и наведение на цель на начальном и среднем участках траектории полёта осуществляется с помощью инерциальной радиокорректируемой системы управления. В процессе перехвата цели ракета переходит на активное самонаведение. При необходимости интенсивного маневрирования перед точкой встречи с целью ракета может использовать режим сверхманёвренности, для чего используется специальная газодинамическая система управления.



Рис. 9

Ракеты 9M96E, 9M96E2 и 48N6E2 на выставке МАКС-2005

Реализованная в рамках создания ЗУР 9M96E и 9M96E2 идея использования командно-инерциального наведения на начальном участке и самонаведения на конечных этапах полёта заслуживает особого внимания. ЗУР с подобными возможностями в наибольшей степени соответствуют требованиям защиты важных объектов от массированных ударов средств воздушно-космического нападения, поскольку они практически не будут иметь ограничений по скорострельности, а в сочетании с реализацией принципа «выстрелил — забыл» позволят организовать высокую плотность огня по уничтожению средств ВКН.

Еще одним ценным качеством этих ЗУР может стать возможность их применения во всех видах Вооруженных сил — ВВС, Сухопутных войсках и ВМФ. Реализация подобной унификации — одно из приоритетных направлений работы для создателей новых типов ЗУР — малой, средней или большой дальности. Решение этой задачи позволит радикально сократить существующий в настоящее время типаж ЗУР, выявить и обе-

спечить реализацию наиболее перспективных направлений в их разработке, резко сократить затраты и сроки их создания и в итоге обеспечить повышение функциональной и экономической эффективности зенитных ракетных комплексов.

Ракеты для средств ПВО Сухопутных войск

Опыт разработки и эксплуатации зенитных ракетных средств, накопленный к концу 1950-х гг., позволил поставить перед конструкторами МКБ «Факел» новую задачу — создать ракетные средства ПВО, предназначенные для использования в составе войсковых соединений. Интенсивность этих работ значительно возросла после того, как в августе 1958 г. из состава артиллерии Сухопутных войск исключили зенитные артиллерийские и радиотехнические части, и на их основе были образованы самостоятельные войска ПВО Сухопутных войск.

Первая работа МКБ «Факел» для войсковых систем ПВО — зенитная управляемая ракета 19Д (ЗМ10) для ЗРК средней дальности «Круг», который создавался в НИИ-20 (Научно-исследовательский электромеханический институт (НИЭМИ)). Начало этой работы было положено постановлением ЦК КПСС и Совета Министров СССР от 4 июля 1959 г. № 735-338. Несколько раньше свой вариант ракеты для ЗРК «Круг» предложило свердловское ОКБ-8 под руководством Л.В. Люльева.

Решение о параллельной разработке двух ракет для одного ЗРК следовало двоякую цель: кроме «подстраховки» свердловских конструкторов, опробовалась идея унификации ракетного оружия. Разработка ракеты 17Д, в которой использовался маршевый твердотопливный ракетно-прямоточный двигатель, а также и другие ценные достижения науки и техники, велась в то время и для модернизированного варианта ЗРК войск ПВО С-75. Однако летом 1963 г. работы по 17Д и 19Д были прекращены из-за чрезвычайной сложности доводки твердотопливной прямоточной двигательной установки по сравнению с жидкостной — разработки ОКБ-8.



Рис. 10
Рисунок ракеты ЗМ10 на ПУ комплекса ЗК11М

В начале 1960-х гг. в МКБ «Факел» также рассматривалась возможность применения в составе ЗРК «Круг» зенитной ракеты 4К60, создававшейся для корабельного ЗРК М-11. В отличие от корабельного новый вариант был двухступенчатым, оснащавшимся твердотопливными ускорителями.



Рис. 11

Рисунок ракеты 4К60 на ПУ комплекса ЗК11М

Следующая работа МКБ «Факел» в области войсковых средств ПВО — унифицированная ракета 9М33 для создававшегося в НИИ-20 самоходного автономного ЗРК «Оса», а также для корабельного ЗРК «Оса-М». Поначалу судьба этой ракеты небольших размеров и массы складывалась крайне сложно и даже драматично. Заменялись не только руководители проекта, но и организации-разработчики. Так, работу, начатую осенью 1960 г. в конструкторском бюро Московского завода № 82, в сентябре 1964 г. специальным решением правительства передали в МКБ «Факел». Опыт, которым обладали к тому времени специалисты «Факела», их творческая нацеленность на поиск перспективных конструкторских и технологических решений позволили в крайне сжатые сроки добиться впечатляющих результатов. Уже через год — весной 1965 г. — начались лётные испытания вновь спроектированной ракеты, что позволило вернуться к плановому темпу работ по ЗРК «Оса».



Рис. 12

Ракета 9М33М3 с ТПК на выставке МАКС-2001

Принятая на вооружение осенью 1971 г. ракета выпускалась в различных модификациях, в том числе 9М33М, 9М33М2, 9М33М3, при этом постоянно улучшались её характеристики и эксплуатационные показатели. Последние варианты ЗРК «Оса» оснащены ракетами 9М33 в транспортно-пусковых контейнерах.

Впервые в боевых действиях ракеты ЗРК «Оса» приняли участие весной 1981 г. при отражении израильских бомбовых ударов по сирийским войскам в Ливане.

Опыт, накопленный при создании ракет семейства 9М33 для ЗРК «Оса», очень пригодился, когда создавалась ракета нового поколения 9М330 для самоходного ЗРК «Тор» (головная организация — НИЭМИ, бывший НИИ-20).

Разработка 9М330 началась в 1976 г. Специалисты МКБ «Факел» нашли ряд принципиально новых решений, аналогов которым в то время не было ни в отечественной, ни в зарубежной практике. Они предложили совершенно новую концепцию тактической зенитной управляемой ракеты. Она должна была вертикально стартовать с помощью катапультирующего устройства из установленного на самоходной установке или на корабле транспортно-пускового контейнера, разворачиваться специальной газодинамической системой в требуемом направлении и затем, после запуска маршевого двигателя, выходить на траекторию наведения на цель.

Аэродинамическая схема 9М330 была аналогична схеме 9М33, что позволило обеспечить необходимую преемственность разработки. Так же, как и на 9М33, на 9М330 использован вращающийся относительно продольной оси ракеты крыльевой блок для нейтрализации воздействия момента «косой обдувки», характерного для аэродинамической схемы «утка».

Как и в случае с другими зенитными ракетами нового поколения, при создании 9М330 реализована концепция обеспечения надёжности её беспроверочной эксплуатации в войсках и на флоте в течение всего гарантийного срока.

С принятием на вооружение ракеты 9М330 и её модернизированных вариантов была заложена прочная основа для эффективной борьбы и на поле боя, и на море с самыми совершенными средствами воздушного нападения.



Рис. 13
Пуск ракеты 9М330

Ракеты для Военно-морского флота

Начало процессу оснащения боевых кораблей зенитными управляемыми ракетами было положено в 1950-е гг. Быстрый прогресс авиации, появление управляемых ракет и самолётов-снарядов на вооружении кораблей и самолётов не оставляли практически никаких шансов на победу в морском бою кораблям, которые от нападения с воздуха могли защищаться лишь зенитной артиллерией. По сути дела, надводный флот (и не только советский) в те годы был поставлен перед непростым выбо-

ром: либо он будет в состоянии отражать атаки самолётов и ракет, либо ему предстоит сойти со сцены как самостоятельной боевой силе.

Работы по созданию зенитных управляемых ракет для ЗРК советских боевых кораблей начались в середине 1950-х гг. И первой в этом ряду была установленная в 1958 г. на борту крейсера Черноморского флота «Держинский» зенитная ракетная система М-2 «Волхов-М» (SA-N-2 по классификации НАТО), использовавшая ракеты средней дальности 13ДМ. ЗРК «Волхов-М» был корабельным аналогом комплекса С-75 Войск ПВО. Специально для «Волхова-М» в МКБ «Факел» модифицировали ракету 1Д, входившую в состав С-75. Ее корабельная модификация — двухступенчатая ракета 13ДМ — внешне весьма незначительно отличалась от наземного варианта. Были изменены лишь узлы подвески к стартовой направляющей и заменен ряд конструкционных материалов с учётом эксплуатации ракеты на кораблях.

Пуски 13ДМ, начатые осенью 1958 г. с «Держинского», показали принципиальную возможность её использования в качестве противокорабельного оружия. Однако принятый в начале 1960-х гг. на вооружение флота «Волхов-М» по ряду причин не получил широкого распространения. Не вполне удовлетворили заказчиков и ракеты 13ДМ — прежде всего из-за своих размеров (они занимали много места, что значительно снижало их боезапас на корабле), а также из-за наличия на их маршевой ступени токсичных и агрессивных компонентов топлива (работа с ними оказалась весьма серьёзной проблемой для моряков). И хотя свои цели «Волхов-М» поражал примерно с той же эффективностью, что и его наземный собрат, вопрос о полномасштабном размещении на кораблях ЗРК средней дальности остался открытым.

Параллельно с работами по М-2 в НИИ-10 (НИИ «Альтаир»), который стал головным разработчиком корабельных ЗРК, велись работы по созданию зенитной ракетной системы М-1



Рис. 14
Ракеты 13ДМ на ПУ крейсера
«Держинский»

«Волна» (SA-N-1). Ракеты этой системы — 4К90 — были унифицированы с ракетами зенитной ракетной системы С-125 Войск ПВО страны. Главное отличие этих ракет состояло в использовании на их первой и второй ступенях только твердотопливных двигателей. Благодаря этому была значительно упрощена их эксплуатация на кораблях. Среди других новшеств, примененных в 4К90, можно назвать раскрываемые после старта ракеты стабилизаторы на ускорителе. За счёт этого уменьшались габариты ракеты при её нахождении в боевом отсеке корабля и на пусковой установке.

В начале 1960-х гг. эта зенитная система была испытана на эсминце «Бравый» и в 1962 г. принята на вооружение ВМФ.

Следующим этапом для «Факела» стала разработка ракеты 4К91 для модернизированного варианта

ЗРК «Волна-М». Её основным отличием от 4К90 стало использование значительно более эффективных двигательных установок. Это значительно улучшило её характеристики. Внешне новая ракета отличалась от своей предшественницы лишь тем, что на ускорителе появились две тормозные плоскости, которые предназначались для уменьшения размеров зоны падения ускорителя после окончания работы. На вооружение кораблей ВМФ эта ракета была принята в середине 1960-х гг.

В связи с тем, что система М-2 не получила широкого распространения, в конце 1950-х гг. начались работы по созданию нового корабельного ЗРК средней дальности М-11 и новой ракеты

для него. Эта ракета, при сохранении всех боевых качеств 1ЗДМ, в то же время должна была стать одноступенчатой, твердотопливной, иметь в полтора-два раза меньшие массу и габариты.

Для успешного решения поставленной задачи в МКБ «Факел» был проведён комплекс исследований, в число которых входили:

- выбор рационального метода радиокомандного наведения ракеты на цель;
- выбор её аэродинамической схемы;
- разработка легкой и прочной конструкции;
- создание максимально эффективной двигательной установки с двумя режимами тяги.

Именно создание такого двигателя — с высоким массовым совершенством конструкции, снаряженного высокоэффективным топливом, — и стало отправной точкой, основой для успешной разработки этой ракеты.

Летом 1964 г. начались её лётные испытания, закончившиеся в 1967 г. на кораблях Черноморского флота. Первым кораблём, оснащённым новой системой, стал в 1967 г. противолодочный крейсер «Москва».

Ракеты, созданные для М-11 (SA-N-3), получившие обозначение 4К60, способны были перехватывать высокоскоростные цели в широ-



Рис. 15

Пуск ракеты 4К90 с борта эсминца "Бравый"



Рис. 16

Пуск ракеты 4К91



Рис. 17
Старт ЗУР 4К60 с борта БПК пр. 1134Б

ком спектре высот и были развёрнуты на больших противолодочных кораблях и на тяжелых авианесущих крейсерах. По сравнению с системой М-1 новая система обладала рядом особенностей, связанных с лучшей способностью поражать низколетящие маневрирующие цели в условиях применения средств радиоэлектронного противодействия. В течение последующих 15–20 лет система М-11 с ракетами 4К60 входила в число наиболее эффективных корабельных зенитных ракетных средств.

Малогабаритная зенит-ная ракетная система «Оса-М» (SA-N-4) была введена в строй в 1971 г. и представляла собой корабельный вариант самоходной системы «Оса» Сухопутных войск. Их ракеты максимально унифицированы. Даже разрабатывались они по единому заданию, в котором соответствующим образом была отражена корабельная специфика будущего использования.

Создание универсальной ЗУР 9М33 потребовало проведения широкого круга исследований, поскольку, как оказалось, небольшие размеры ракеты вовсе не гарантировали, казалось бы, пропорционального снижения трудозатрат. Скорее наоборот. В процессе этих работ на «Факеле» был проанализирован весь имевшийся к тому времени опыт отечественного и зарубежного ракетостроения в части, касавшейся разработки ракет подобного класса. Были сделаны в КБ и соответствующие выводы, позволившие в очередной раз добиться высокого результата.

9М33 отличается от ракет-аналогов, прежде всего, свободно вращающимся крыльевым блоком. Применение такого блока помогло заметно расширить возможности использованной для ракеты аэродинамической схемы «утка», поскольку вращающийся крыльевой блок снизил негативное влияние на полёт ракеты возникающих паразитных аэродинамических моментов и сил. Результатом его применения стало и уменьшение массы системы управления ракетой, полностью сохранившей при этом эффективность своей работы.

Привлекательной особенностью системы «Оса-М» стали две стартовые направляющие пусковой установки, которые убираются под палубу во время движения корабля, когда он находится вне боевой обстановки. Благодаря своим высоким характеристикам и удобству в эксплуатации «Оса-М» — одна из наиболее массовых корабельных зенитных систем.

К концу 1960-х гг. со всей очевидностью обозначилось качественное изменение расстановки сил на море, связанное, прежде всего, с появлением новых, еще более эффективных видов противокорабельного ракетного оружия, с широким оснащением этим оружием самолётов, надводных кораблей и подводных лодок. Высокая сверхзвуковая скорость и минимальные высоты полёта, манёвренность, малая радиолокационная

заметность, увеличенное поражающее действие, возможность массированного применения и организации атак с различных направлений — вот далеко не полный перечень особенностей нового поколения оружия воздушного нападения. Естественно, что его появление меняло не только характер борьбы на море, но и её масштабы.

К работам по созданию зенитных ракет нового поколения, способных эффективно противостоять самым интенсивным воздушным атакам, в МКБ «Факел» приступили еще в середине 1960-х гг. Первой

в этом ряду стала зенитная ракета средней дальности 5В55РМ для корабельного ЗРК С-300Ф «Риф». Этим комплексом должны были оснащаться боевые корабли водоизмещением свыше 5000 т.

Проблемы, вставшие при создании 5В55РМ, существенно отличались от всех тех, с которыми прежде приходилось сталкиваться специалистам «Факела». Новый комплекс должен был быть многоканальным, обеспечивать эффективную круговую оборону соединений кораблей и обладать высокой скорострельностью. Не имел аналогов и способ размещения его ракет и их запуска — из подпалубных пусковых установок-барабанов. Соответственно, от новой ракеты потребовались не только высокие тактико-технические характеристики, но и высокая серийноспособность, максимальная надёжность и простота в эксплуатации.

В основу разработки 5В55РМ, поступившей на вооружение кораблей ВМФ в начале 1980-х гг., было положено широкое использование принципиально новых конструкторских решений, материалов и передовых технологий, применение интегральных схем и электронной цифровой техники нового поколения.

И специалисты «Факела» создали, без сомнения, выдающуюся ракету. В ней нашли отражение самые передовые технические достижения в данной области, были предвосхищены практически все основные направления, по которым пошла в последующие десятилетия разработка новых зенитных ракет в мире. Неотъемлемой частью зенитной ракеты стал герметичный транспортно-пусковой контейнер (ТПК), в ко-



Рис. 18

Старт ЗУР 9М33 с борта БПК пр. 1134Б



Рис. 19

Пусковая установка Б-203А
крейсера пр. 1144
«Петр Великий»

тором она должна находиться всё время своей службы. Из него же она должна была стартовать с помощью катапультирующего устройства.

Это свело к минимуму количество и продолжительность предстартовых операций и, соответственно, обеспечило высокий темп стрельбы. Запуск маршевого двигателя ракеты при таком старте производился после её подъема на высоту около 20 м над палубой корабля. Всё это позволило значительно повысить скорострельность комплекса (поскольку все ракеты находятся непосредственно на пусковой установке и готовы к немедленному пуску), дало возможность обеспечить эффективную круговую оборону от самолётов и ракет, летящих с любых направлений, рациональным образом использовать жёстко ограниченные объёмы боевого корабля (и соответственно увеличить располагаемый на нём боекомплект), практически исключило «зоны запрета» при пусках ракет, так как при наклонном старте их полёт должен проходить, минуя корабельные надстройки.



Рис. 20
Пуск ракет 5В55РМ
с борта крейсера пр. 1144
«Петр Великий»

Высокая точность попадания в цель в широком диапазоне высот и дальностей полёта была достигнута за счёт использования нового метода наведения ракеты на цель, представлявшего собой органичное сочетание традиционного радиокомандного метода (использовавшегося для всех предыдущих корабельных ракет «Факела») с полуактивным радиолокационным самонаведением.

В 1990-е гг. широкую известность получила зенитная ракета малой дальности 9М330, также разработанная на «Факеле». Она была использована в составе комплекса «Клинок», предназначенного для самообороны боевых кораблей различных классов водоизмещением свыше 800 т. Как и «Риф», этот комплекс также относится к числу многоканальных — его ракеты могут одновременно поражать до четырёх целей.

Ракета 9М330 комплекса «Клинок», как и её предшественница, была выполнена по аэродинамической схеме «утка», она также использует свободно вращающийся крыльевой блок. Её крылья вы-

полнены складными, что дало возможность разместить 9М330 в ТПК квадратного сечения, размеры которого лишь ненамного превышают размеры самой ракеты. Старт 9М330, как и 5В55РМ, осуществляется вертикально из подпалубной пусковой установки барабанного типа с помощью катапульты, а запуск двигателя ракеты происходит на безопасной высоте над кораблём. Подобный вид старта стал своего рода фирменным знаком ракет МКБ «Факел». Но в ракете 9М330 он дополнен не имеющей аналогов газодинамической системой склонения, с помощью которой менее чем за одну секунду, в процессе подъёма на высоту запуска маршевого двигателя, ракета разворачивается в сторону цели.

В настоящее время ракета 9М330 находится на вооружении тяжелых авианесущих крейсеров, атомных ракетных крейсеров и других кораблей.

Последним по времени корабельным оружием, созданным на «Факеле», стали ракеты для многоканального зенитного ракетного комплекса «Риф-М». Этот комплекс предназначен для обороны ордера кораблей от массированных атак различных средств воздушного нападения: самолётов, авиационных крылатых ракет, противокорабельных крылатых ракет, в том числе совершающих манёвр и летящих на предельно малых высотах.

В отличие от созданного ранее ЗРК «Риф», комплекс «Риф-М» способен одновременно обстреливать до шести целей, находящихся на расстоянии до 120 км, и успешно бороться с противокорабельными ракетами на высотах до 10 м. Зенитная управляемая ракета 48Н6К в составе этого комплекса также использует принцип «холодного» вертикального старта, имеет улучшенную двигательную установку и увеличенную осколочно-фугасную боевую часть.

Ракеты нового поколения, разработанные на «Факеле», роднит не только высокий уровень достигнутых характеристик и возможность применения в различных родах войск. Впервые в мировой практике на вооружение боевых кораблей поступили ракеты, обладающие возможностью их длительной (до 10 и более лет) беспроверочной эксплуатации. В течение всего этого срока ракеты, находясь в самых суровых климатических условиях, в многомесячных океанских походах, не требуют никакого обслуживания.



Рис. 21

Пуск ракеты 9М330 с борта авианесущего крейсера «Баку»

Ракеты для систем ПРО

Эра использования баллистических ракет дальнего действия в военных целях, начавшаяся с первых запусков немецких ФАУ-2, направленных на Лондон, одновременно вывела в разряд актуальных и задачу борьбы с этим новым видом оружия. Для СССР отправной точкой в этой работе стало появление первых зенитных ракет и соответствующих научных и конструкторских организаций, которым могло бы быть поручено решение такой задачи. Стимулом для начала работ послужило направленное руководству страны в августе 1953 г. письмо семи маршалов Советского Союза, в котором была изложена просьба рассмотреть возможность создания в стране средств противоракетной обороны.

Несмотря на всю новизну и сложность задачи, скептическое отношение к ней многих видных учёных («стрелять ракетой по ракете — это такая же глупость, как стрелять снарядом по снаряду»), за её решение в 1953 г. взялась группа молодых учёных-разработчиков КБ-1 во главе с доктором технических наук Г.В. Кисунько. Они провели ряд основополагающих теоретических исследований, связанных с формированием необходимого объёма средств и облика экспериментальной полигонной системы ПРО, предназначенной для проведения натурной отработки поражения входящих в атмосферу одиночных головных частей баллистических ракет противоракетами с осколочной боевой частью.

17 августа 1956 г. было выпущено развёрнутое постановление Совета Министров СССР, которое санкционировало начало полномасштабных работ по тематике противоракетной обороны и определяло исполнителей, а также сроки создания экспериментального комплекса ПРО — системы «А» и противоракетного полигона. К этому моменту специалисты уже провели поиск места возможного расположения полигона, началось проектирование его объектов. Местом для отработки средств противоракетной обороны стала пустыня Бетпак-Дала, которая находится западнее озера Балхаш.



Рис. 22
Ракета В-1000 на ПУ

Противоракета В-1000, созданная в МКБ «Факел» для использования в составе системы «А», отличалась особой технической новизной. В-1000 представляла собой двухступенчатую ракету с твердотопливным ускорителем и управляемой второй ступенью с ЖРД. Средняя скорость полёта противоракеты составляла 1000 м/сек, а ее система управления позволяла осуществлять перехват цели на высотах до 25 км. Ввиду скоротечности процесса перехвата боевых головок баллистических ракет, невозможности вмешательства в этот процесс человека, а также из-за высоких требований к точности наведения весь процесс перехвата был полностью автоматизирован и базировался на использовании цифровой электронно-вычислительной техники.

Для проведения натурных испытаний системы наведения противоракеты В-1000 в составе средств системы «А» была разработана новая технология, соответствующая большой сложности этого комплекса. Так, помимо традиционных для зенитных ракет автономных пусков с исполнением команд, поступающих от бортового программного устройства, и пусков в замкнутом контуре управления по условной и реальным целям, были предусмотрены специальные пуски для отработки ракеты В-1000:

- в разомкнутом контуре управления по ступенчатым командам, передаваемым на борт ракеты по радиолинии от ЭВМ;
- в замкнутом контуре управления по фиксированным траекториям вывода и наведения;

– модельные пуски программно реализованного на ЭВМ имитатора противоракеты по реальной цели в боевом цикле комплекса.

Ввод дополнительных промежуточных этапов натуральных испытаний позволил в полной мере реализовать принцип «от простого к сложному», присущий наиболее эффективной методологии отработки сложных технических систем.

Эксперименты по поражению боеголовок баллистических ракет начались в ноябре 1960 г. А уже 4 марта 1961 г. впервые в мире осколочной боевой частью ракеты В-1000 был уничтожен боевой блок баллистической ракеты дальнего действия Р-12. В дальнейшем еще в десяти пусках было осуществлено аналогичное поражение боевых блоков баллистических ракет Р-5 и Р-12.

Успешные результаты испытаний системы «А» позволили уже в июне 1961 г. завершить разработку и выпустить эскизный проект боевой одношелонной системы ПРО заатмосферного перехвата А-35. Её разработка велась коллективом ОКБ «Вымпел», выделившимся из состава КБ-1 (в дальнейшем — НИИ радиопромышленности) под руководством генерального конструктора Г.В. Кисунько, а на этапе ее модернизации — под руководством главного конструктора И.Д. Омельченко. Система А-35 предназначалась для защиты Москвы от одной-двух моноблочных межконтинентальных баллистических ракет типа «Титан-2» и «Минитмен-2» до их входа в атмосферу.

Работы по проектированию средств системы А-35 были начаты в апреле 1958 г. и на каждом из этапов выполнения отражали быстро менявшиеся в процессе экспериментов с системой «А» взгляды специалистов на её требуемый состав и характеристики. Одним из таких этапов стала защита эскизного проекта системы А-35 осенью 1962 г. В соответствии с ним в состав системы должны были войти командный пункт, восемь радиолокационных станций, образующих круговое поле обнаружения, и 32 стрельбовых комплекса с противоракетами 5В61. Эти противоракеты, создававшиеся в МКБ «Факел», значительно отличались и по внешнему виду, и по своим боевым возможностям от В-1000.

В МКБ «Факел», приступив к проектированию ракеты 5В61, быстро пришли к выводу о том, что новую ракету невозможно создать, используя те же технические предпосылки, что и для ракеты В-1000. Для новой противоракеты требовались новые двигатели — с меньшей массой и лучшей энергетикой, новые траектории полёта, при которых значительно снижалось аэродинамическое сопротивление. Применение в системе А-35 ядерного снаряжения позволило осуществлять перехват целей противоракетами не только на встречных курсах (как в системе «А»), но



Рис. 23
Габаритно-весовой макет ракеты
5В61. Памятник

и на встречно-пересекающихся. В результате 5В61 получилась абсолютно непохожей на свою предшественницу.



Рис. 24

Пусковая установка для ракеты 5В61

Наведение на цель противоракеты 5В61 осуществлялось командным методом. Команда на подрыв боевой части вырабатывалась на земле и передавалась на борт ракеты. Управление полётом противоракеты на атмосферном участке траектории полёта происходит с помощью аэродинамических рулей, а вне атмосферы управление полётом второй ступени осуществляется жидкостной ракетной двигательной установкой. Старт ракеты — наклонный, из транспортно-пускового контейнера.

Для поражения цели, скорость которой значительно превосходила скорость перехватчика, необходимо было реализовать высокую точность прилёта противоракеты в расчётную точку встречи с баллистической целью. Впервые для решения задачи перехвата столь сложных целей была создана и реализована система управления продольным движением ракеты, что обеспечило её прилёт в

точку перехвата с минимальными разбросами относительно заданного времени встречи. Для этого был создан специальный контур регулирования тяги двигателя противоракеты, разработаны соответствующие алгоритмы управления.

В рамках создания системы А-35 был проведён ряд работ по синтезу оптимальных систем теленаведения противоракеты, по алгоритмам фильтрации и методам наведения. Усилиями нескольких институтов была создана сложная математическая модель стрельбового канала системы А-35 («электронный выстрел») для исследования характеристик отдельных подсистем и оценки эффективности стрельбы в целом.

К 1967 г. на полигоне был развёрнут экспериментальный образец системы А-35 — «Алдан», испытания которого завершились «условными» перехватами головных частей ракет Р-12 и других, более совершенных баллистических ракет.

Испытания полигонного комплекса системы А-35 подтвердили правильность принятых научно-технических решений, которые обеспечили боевое функционирование этой полностью автоматизированной системы при поражении моноблочной баллистической ракеты. Впервые боевая задача с реальными пусками противоракет штатным боевым расчётом была выполнена 9 июня 1970 г., а в 1971 г. головной комплекс системы А-35 был принят в опытную эксплуатацию.

Однако к началу 1970-х гг. опережающие темпы создания баллистических ракет наземного и морского базирования «Минитмен-3», «Поларис-А-3Т», «Посейдон С-3», оснащённых многорядными голов-

ными частями, потребовали проведения специального анализа возможностей системы А-35 по борьбе с такими целями. Как показали его результаты, поражение подобных целей в условиях помех и применения комплекса средств преодоления ПРО (большое количество ложных лёгких и тяжёлых целей, станций активных помех, маскирующих боевые блоки на траектории их полёта) средствами системы А-35 было невозможно. Ввиду этого в 1977 г. на вооружение был принят модернизированный вариант системы А-35М, которая получила способность поражать — с определенными ограничениями — подобные сложные баллистические цели. С 1978 г. система А-35М была поставлена на боевое дежурство.

В 1962 г. руководство страны инициировало работы по созданию мобильной объектовой системы ПРО С-225 «Азов», разработка которой велась коллективом КБ-1 под руководством генерального конструктора А.А. Расплетина (а после его смерти в 1967 г. — под руководством Б.В. Бункина). Она предназначалась для защиты малоразмерных объектов от налета одной-двух баллистических целей и включала в свой состав радиолокационную станцию с фазированной антенной решёткой для слежения за целью и наведения противоракет, а также станцию передачи команд. Для использования в составе системы С-225 в МКБ «Факел» создавались противоракеты 5Я27 (В-825, АВМ-Х-3В в обозначениях НАТО) и 5Я26 (ПРС-1, АВМ-Х-3А Gazelle/SH-08 в обозначениях НАТО).

В состав системы ПРО С-225 (комплекс «Азов»), кроме противоракет средней (5Я27) и малой дальности (5Я26) входили РЛС точного наведения, командно-вычислительный пункт, станция передачи команд и мобильные пусковые средства (позже — шахтные пусковые установки). Испытания средств комплекса велись с 1967 по 1984 гг.

Первый бросковый пуск ракеты 5Я27 осуществлен 27 июля 1967 г., пуски с управ-



Рис. 25
Пуск противоракеты 5В61



Рис. 26
Ракета 5Я27 в сборочном цехе

лением от автопилота производились в 1969 г., первый пуск в замкнутом контуре управления комплекса «Азов» — 16 февраля 1971 г.

Приёмочные пуски ракет 5Я27 производились на первом полигонном комплексе «Азов» 1 февраля 1973 г., 29 октября 1976 г. и 19 июля 1977 г. (последние два — успешный заатмосферный перехват БЧ БРСД и МБР):

- 29 октября 1976 г. впервые в СССР был осуществлен перехват головной части баллистической ракеты (БРСД) в верхних слоях атмосферы;
- 28 июля 1977 г. проведена боевая работа по скоростной сложной баллистической цели (МБР).

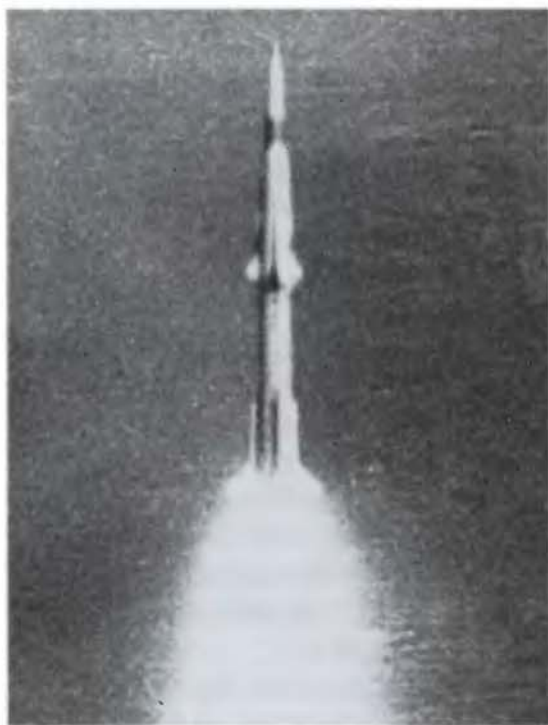


Рис. 27
Пуск ракеты 5Я27

Всего проведено 50 пусков противоракет 5Я27.

Разработка ракеты 5Я26/ПРС-1 для комплекса С-225 началась в 1967 г. Впоследствии разработка ракеты 5Я26/ПРС-1 комплекса С-225 была включена в состав второго эшелона системы ПРО А-135 под индексом 55Т6, а позднее ее документация была передана для дальнейшей разработки в ОКБ-8, г. Свердловск. Ракета ПРС-1 вошла в состав второго эшелона системы А-135 под индексом 53Т6.

В ракетах системы С-225 было применено немало технических новшеств. Для них провели ряд исследований алгоритмов атмосферной селекции целей, алгоритмов вывода и управления, алгоритмов оптимальной фильтрации. Одновременно с этим проводилась напряженная работа и на полигоне по созданию комплекса

математических моделей, предназначенных для предпускового и послепускового моделирования, оценки точности наведения, обеспечения безопасности проведения лётных испытаний.

После заключения Договора по системам ПРО 1972 г. разработка системы С-225 была прекращена, и элементы системы использовались для экспериментов в интересах создания системы А-135. Цель — использование РЛС наведения в качестве измерительного средства при испытаниях систем преодоления ПРО. Экспериментальные исследования методов и алгоритмов атмосферной селекции баллистических целей велись по решению комиссии Президиума СМ СССР от 15.01.1975 г. № 9.

После испытаний на полигоне Сары-Шаган комплекс в 1975 г. был перемещён на Камчатку. На РЛС проведён ряд конструктивных добавок с целью снижения высоты устойчивого сопровождения элементов баллистических ракет. Разработаны и внедрены программы статистической обработки координат цели и измерения спутных следов, возникающих за тяжёлыми целями при их пролёте через атмосферу, введены новые типы зондирующих сигналов. Комплекс 5К17 работал до 2006 г.

С учётом опережающего развития средств нападения и совершенствования баллистических ракет в начале 1970-х гг. были развёрнуты работы по созданию системы второго поколения ПРО Москвы (двухэшелонная система А-135). Назначением этой системы была гарантированная защита Московского промышленного района от удара группы баллистических ракет и их боевых блоков. Она полностью вписывалась в положения Договора по ПРО, подписанного между СССР и США в 1972 г. 17 февраля 1995 г. система ПРО Московского промышленного района А-135 была принята на вооружение.

В состав системы А-135 вошла созданная в МКБ «Факел» противоракета заатмосферного перехвата 51Т6 (А-925), предназначенная для уничтожения боевых блоков межконтинентальных баллистических ракет до их входа в атмосферу. Противоракета 51Т6 не имела и не имеет аналогов в мировом ракетостроении. Она была выполнена с применением новейших достижений отечественной науки и техники, прогрессивных технологий, новых металлических и неметаллических материалов по двухступенчатой схеме — с твердотопливным ракетным двигателем на первой ступени и жидкостной ракетной двигательной установкой на второй. Старт ракеты — вертикальный, из шахтной пусковой установки.

Впервые противоракета была оснащена командно-инерциальной системой управления с бортовой цифровой вычислительной машиной, впервые применённой для ракет такого класса. Управление полётом первой ступени на атмосферном участке траектории полёта происходит с помощью аэродинамических рулей, а вне атмосферы управление полётом второй ступени осуществляется жидкостной ракетной двигательной установкой, состоящей из центрального блока тяги и четырех поворотных двигателей блока управления, которые конструктивно связаны с аэродинамическими рулями и их рулевыми приводами.

Бортовая аппаратура противоракеты выполнена в радиационно-стойком исполнении. Были приняты специальные меры для обеспечения радиационной стойкости бортовой вычислительной машины. Конструкция ракеты и её бортовой аппаратуры обеспечивала при необходимости продолжительный автономный полёт без команд от наземной системы наведения. По командам от наземной системы наведения противоракета могла перенацеливаться в полёте.

Боевые программы бортовой цифровой вычислительной машины и конструкция жидкостной ракетной двигательной установки обеспечивали эффективное продольно-поперечное маневрирование противоракеты, благодаря чему осуществляется прилёт противоракет в заданные точки встречи с целями с минимальными разбросами относительно заданного времени встречи. Чтобы реализовать этот режим, в жидкостной ракетной двигательной установке использована оригинальная схема забора компонентов топлива из баков, обеспечивающая повторный запуск блока тяги и полную выработку компонентов.

Противоракета 51Т6 обеспечивала высокую вероятность уничтожения боевых блоков межконтинентальных баллистических ракет на больших дальностях и высотах.

Первый пуск А-925 был произведён весной 1979 г. 18 июня 1982 г. две противоракеты системы 53Ж60П на полигоне Сары-Шаган перехватили БР РСД-10 (запущена с полигона Капустин Яр) и БРПЛ Р-29 (запу-

щена с РПКСН). В окончательном виде система ПРО Московского промышленного района А-135 была принята на вооружение 17 февраля 1995 г.



Рис. 28
Макет ракеты 51Т6 перед
КПП дивизии ПРО в Софрино



Рис. 29
Транспортная машина 81Р6 с ТПК ракеты 51Т6
на параде в честь праздника Победы
9 мая 2006 г. Пушкино Московской области

В состав системы А-135 входят:

- командный пункт 5К80 (п. Софрино — 1),
- РЛС 5Н20 «Дон-2Н» (п. Софрино — 1), «Дунай-3» (Кубинка — 10) и «Дунай-3У» (Чехов — 7);
- 5 стрельбовых комплексов 51Ж6 «Амур» с шахтными ПУ противоракет 53Т6 (Лыткарино — 16 ПУ, Сходня — 16, Королев — 12, Внуково — 12, Софрино — 12. Всего 68 ПУ);
- 2 стрельбовых комплекса «Азов» с шахтными ПУ противоракет 51Т6 (Наро-Фоминск — 10, Сергиев Посад — 15. Всего 32 ПУ).

Дальнейшее развитие ракет для систем ПРО велось МКБ «Факел» в рамках исследования технических путей создания системы А-235. Система создавалась в качестве замены системы ПРО А-135 (генеральный конструктор — А.Г. Басистов (по 1998 г.), главный конструктор — Б.П. Виноградов). Аналогично системе А-135 система А-235 включала в себя два эшелона ПРО. Ракеты разрабатывались МКБ «Факел» с использованием наработок по ракетам 51Т6 и 55Т6. Отработка элементов системы в 1990-е гг. велась на стрельбовом комплексе «Амур-П» на полигоне Сары-Шаган.

Совершенствование ракетных средств для систем ПРО в настоящее время ведётся в направлении создания высокоточных противоракет, использующих принципы самонаведения и безъядерного поражения. С этой целью в последние годы был проведён большой объём проектных работ по системам самонаведения перспективных противоракет, по определению требований к динамическим характеристикам их элементов и систем самонаведения, по оценке точности наведения и вероятности поражения боевых блоков баллистических ракет. Решён ряд сложных проблем и уникальных задач науки, техники и производства, не имеющих аналогов в практике боевой ракетной техники.



ДАВЫДОВ Г.В.,
ФГУП «ЦНИИ «Комета»,
кандидат технических
наук



ЛЕГЕЗО Л.С.,
ФГУП «ЦНИИ «Комета»,
кандидат технических
наук



МИШУКОВ С.А.,
ФГУП «ЦНИИ «Комета»,
кандидат технических
наук



МИСНИК В.П.,
генеральный директор —
генеральный конструктор
ФГУП «ЦНИИ «Комета», док-
тор технических наук, про-
фессор

КОСМИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ СТРАТЕГИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Система противокосмической обороны «ИС»

После запуска СССР в 1957 г. первого искусственного спутника Земли (ИСЗ) началась эра освоения космического пространства. Стало ясно, что господство в космосе могло бы обеспечить огромные преимущества, прежде всего в военной сфере.

В 1950-е гг. наиболее активно шло развитие космической техники военного назначения. Были созданы разведывательные ИСЗ, велась разработка спутников для решения других задач военного плана. Серьёзно изучались вопросы возможности создания и использования ударных космических средств, включая спутники, снаряженные ядерными зарядами.

В США в конце 1950-х гг. активно велись работы по созданию средств противокосмической обороны (ПКО) — системы «Сейнт».

В Советском Союзе один из ведущих конструкторов-ракетчиков академик В.Н. Челомей вышел с предложением о разработке космических

систем ПКО – «ИС», морской космической разведки и целеуказаний (МКРЦ) – «УС» и ряда ракет носителей малой, средней и большой грузоподъёмности. Его поддержали военные заказчики.

В июле 1960 г. вышло постановление правительства СССР, в соответствии с которым началась разработка аванпроектов систем, предложенных В.Н. Челомеем. Этим постановлением была определена основная кооперация разработчиков.

Головной организацией по системам в целом, разработке космических аппаратов и ракет-носителей, в частности РН УР-200 для систем «ИС» и «УС», было назначено ОКБ-52 (генеральный конструктор В.Н. Челомей), головной организацией по стартовому комплексу систем «ИС» и «УС» – КБТМ (главный конструктор В.Н. Соловьёв), головной организацией по бортовым и наземным комплексам управления – КБ-1 (генеральный конструктор А.А. Расплетин, главный конструктор А.И. Савин, начальник ОКБ-41). (После выделения ОКБ-41 из состава КБ-1 и образования на его основе в 1973 г. ВНИИ «Комета» А.И. Савин до 1999 г. был директором и генеральным конструктором созданного института. В 1973 г. главными конструкторами системы ИС, внесшими в её создание и дальнейшее совершенствование значительный вклад, были К.А. Власко-Власов и Л.С. Легезо).

Создание средств автоматического управления космическими объектами для специалистов КБ-1 (ОКБ-41) в принципе было совершенно новой задачей. Техническое проектирование этих систем началось со всестороннего изучения возможных действий вероятного противника в космосе, технических проблем, связанных с использованием мощной ракетной техники в условиях космического пространства. Было очевидно, что вопросы надёжного функционирования космических аппаратов, их энергопотребления и весогабаритных характеристик будут во многом определять технические и конструкторские решения.

Специалистами ОКБ-41 было рассмотрено большое количество возможных вариантов построения системы ПКО. Среди них были:

- система с использованием спутника-перехватчика с головкой самонаведения (ГСН) и обычной боевой частью;
- система, в которой перед поражением производился предварительный осмотр ИСЗ-цели;
- система, обеспечивающая учёт маневрирования ИСЗ-цели и подрыв мины по сигналу с Земли;
- система, обеспечивающая захват опасной ИСЗ-цели и возможности ее посадки;
- система, обеспечивающая поражение ИСЗ-цели силовым лазерным лучом или пучком ускоренных частиц с устройств, установленных на космическом аппарате.

Исследование большого количества возможных вариантов построения системы ПКО в значительной степени способствовало постановке и поиску решения многих проблемных вопросов, связанных не только с космической техникой.

После активного обсуждения разработанных технических предложений на научно-технических советах была утверждена схема, использующая спутник-перехватчик, оборудованный радиолокационной головкой самонаведения и обычной боевой частью (БЧ) осколочного типа.

Физический смысл всей системы заключался в следующем.

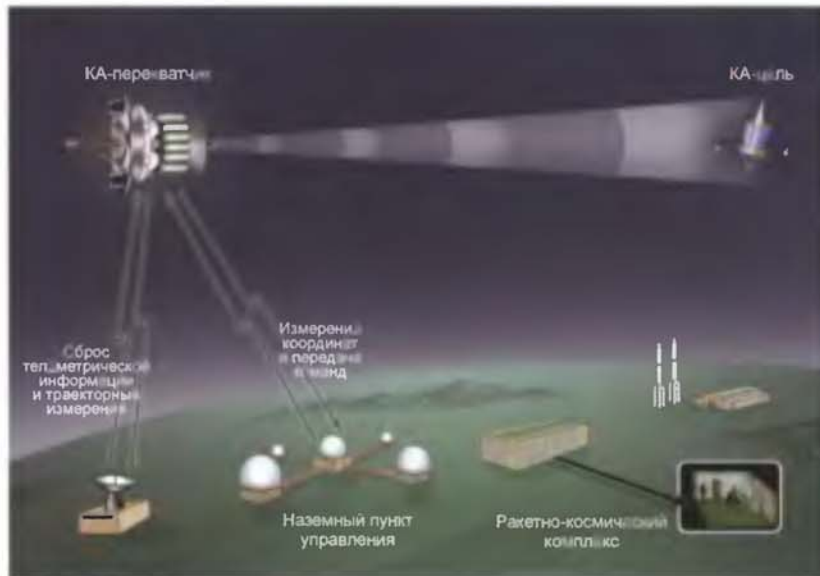


Рис. 1
Схема действия комплекса ИС

Наземные средства контроля космического пространства обнаруживают ИСЗ-цель и производят измерение параметров её движения. Эти данные передаются на командный пункт (КП) системы.

На КП системы по этим данным производится расчёт времени старта противоспутника и траектории его выведения на орбиту. Данные расчёта передаются на стартовую позицию и в цикле подготовки к старту заносятся в бортовую аппаратуру ракеты-носителя и космического аппарата.

В расчётное время производится старт ракеты-носителя с перехватчиком.

После выведения на расчётную орбиту происходит отделение последней ступени носителя от КА-перехватчика. Далее КА совершает управляемый полёт в район встречи с ИСЗ-целью.

В районе встречи ГСН КА-перехватчика обнаруживает ИСЗ-цель, захватывает её на автосопровождение и передаёт сигналы в аппаратуру управления КА. КА-перехватчик сближается с ИСЗ-целью в режиме самонаведения.

На заданной дальности вырабатывается сигнал на подрыв БЧ. Направленное поле осколков боевой части накрывает и поражает ИСЗ-цель.

Чтобы реализовать такой метод перехвата, необходимо было разработать и создать следующие аппаратурные комплексы:

1. Средства обнаружения и измерения координат ИСЗ, пролетающих над территорией СССР.

Разработка этих средств — мощных наземных РЛС — была поручена Радиотехническому институту АН СССР (главный конструктор А.Л. Минц). В дальнейшем эти средства стали основой для создания системы контроля космического пространства (СККП). Первоначально разработка СККП проводилась в 45 ЦНИИ МО СССР. Ведущими специалистами этого института О.А. Чембровским, А.Д. Курлановым, В.И. Мудровым и Е.В. Жадейко были сформулированы основные принципы построения СККП.

2. Средства ракетно-космического комплекса: ракета-носитель, космический аппарат, стартовая и техническая позиции.

3. Командный пункт системы.
4. Средства оперативно-командной связи и передачи данных, увязывающие функционирование всех разнесенных на большие расстояния средств в единую систему.

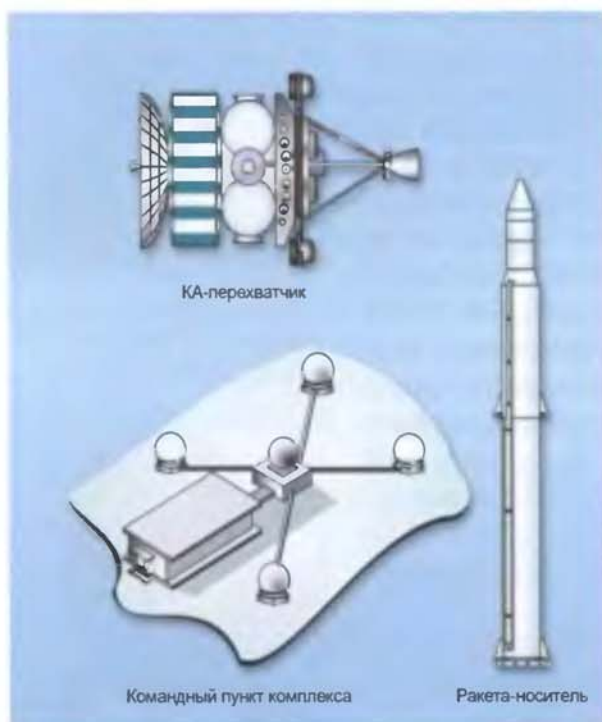


Рис. 2
Состав средств комплекса ИС

Разработка аппаратуры и устройств космического аппарата производилась большими силами первоклассных специалистов многих предприятий.

Уже к 1963 г. на опытном производстве ОКБ-300 была изготовлена комплексная двигательная установка КА, состоявшая из 17 жидкостных реактивных двигателей, позволявших производить их многократное включение на различные временные интервалы (ДУ управления — 5 шт., тягой по 600 кг каждый; ДУ жёсткой стабилизации — 6 шт., тягой по 16 кг; ДУ мягкой стабилизации — 6 шт., тягой по 1 кг).

Специалисты-автопилотчики КБ-1, возглавляемые П.М. Кирилловым, изготовили лётные образцы гироскопической аппаратуры ориентации и стабилизации КА,

специалисты ОКБ-41 — аппаратуру управления, а в ОКБ-52 на базе рамной конструкции ДУ был создан прототип КА-перехватчика.

Наконец было принято решение произвести проверку энергетических и точностных характеристик КА в полёте в реальных условиях космического пространства.

1 ноября 1963 г. был произведен запуск прототипа КА-перехватчика, который на орбите отработал сложную программу маневрирования, многократно запуская и останавливая двигатели до полного расхода топлива. Этот эксперимент получил название «Полёт-1».

На следующий день в газете «Правда» была опубликована информация: «Полёт-1» совершает широкие маневры в космосе, меняя плоскость орбиты и высоту».

12 апреля 1964 г. в рамках программы отработки маневренных возможностей КА-перехватчика в космосе был проведен повторный эксперимент, получивший название «Полёт-2».

Разработка средств системы «ИС» велась под неусыпным контролем со стороны заказчика и Военно-промышленной комиссии при СМ СССР (ВПК). Наступал 1965 год, год трудных и сложных преобразований. Эти преобразования напрямую затронули и разработки систем «ИС» и «УС».

Успехи С.П. Королёва и М.К. Янгеля в создании БР и МБР заставили Министерство обороны пересмотреть планы работ в этой области.

Д.Ф. Устинов назначил комиссию под председательством Ю.А. Мозжорина с целью определить необходимость создания БР УР-200.

Заключение комиссии оказалось роковым для ОКБ-52 и В.Н. Челомея. Рассмотрев состояние дел по разработке систем «ИС» и «УС», для которых создавались УР-200, комиссия рекомендовала работы по их созданию прекратить, а в качестве ракеты-носителя для систем «ИС» и «УС» использовать БР Р-36, разработанные М.К. Янгелем. Кроме этого, комиссия посчитала целесообразным головной организацией по этим системам назначить КБ-1.

26 августа 1965 г. вышло постановление правительства СССР, которое обязывало прекратить разработку БР УР-200, а для систем «ИС» и «УС» в качестве ракеты-носителя использовать БР Р-36. Этим постановлением также была узаконена следующая реорганизация кооперации разработчиков: головной организацией по системам «ИС» и «УС» определялось КБ-1; головной организацией по РН (по доработке БР Р-36) — КБ «Южное»; головной организацией по КА систем «ИС» и «УС» — ОКБ-52. В остальном сложившаяся кооперация сохранялась.

Эта реорганизация в будущем серьёзно отразилась на взаимодействии между предприятиями МОМ и МРП.

В связи с заменой ракеты-носителя пришлось пересмотреть ряд ранее принятых решений. РН Р-36 была несколько мощнее, что позволяло расширить тактические возможности системы в целом.

До этих достаточно сложных преобразований основные усилия специалистов КБ-1 были сосредоточены на разработке бортовой и контрольной аппаратуры КА и большого сложного комплекса наземной аппаратуры.

Наземная аппаратура, обеспечивающая автоматизированное управление всеми средствами системы «ИС» и систем, взаимодействующих с ней, представляет собой комплекс автоматизированных радиотехнических, вычислительных и специальных электронных устройств, размещенных на командном пункте. Организация всех расчётных процессов, выбор метода перехвата, определение траектории выведения и времени старта и другие функционально необходимые действия по подготовке и перехвату ИСЗ-цели проводятся на КП.

В состав КП входят:

- главный командно-вычислительный центр (ГКВЦ), оборудованный аппаратурой командно-оперативного назначения, вычислительным



Рис. 3
Главный конструктор
К.А. Власко-Власов



Рис. 4
Главный конструктор
Л.С. Легезо



Рис. 5
Пункт управления комплекса ИС

центром, системой единого времени, средствами передачи данных и оперативно-командной связи и средствами документирования;

- станция определения координат и передачи команд интерферометрического типа (центральный и четыре базовых поста).

В утвержденных Войсками ПВО ТТТ на систему наиболее полно и достаточно жёстко были сформулированы требования к оперативности действий ракетно-космического комплекса. Достаточно сказать, что после получения целеуказания старт противоспутника должен был производиться не более чем через 1 час. В то время такие сроки готовности не были реализованы ни в одном космическом комплексе мира. За создание практически полностью автоматического стартового комплекса взялись специалисты КБТМ и КБ-1.

Была согласована и утверждена следующая схема работы средств стартового комплекса: по получении времени старта автоматически открывались ворота предстартового хранилища, и электровоз с прице-

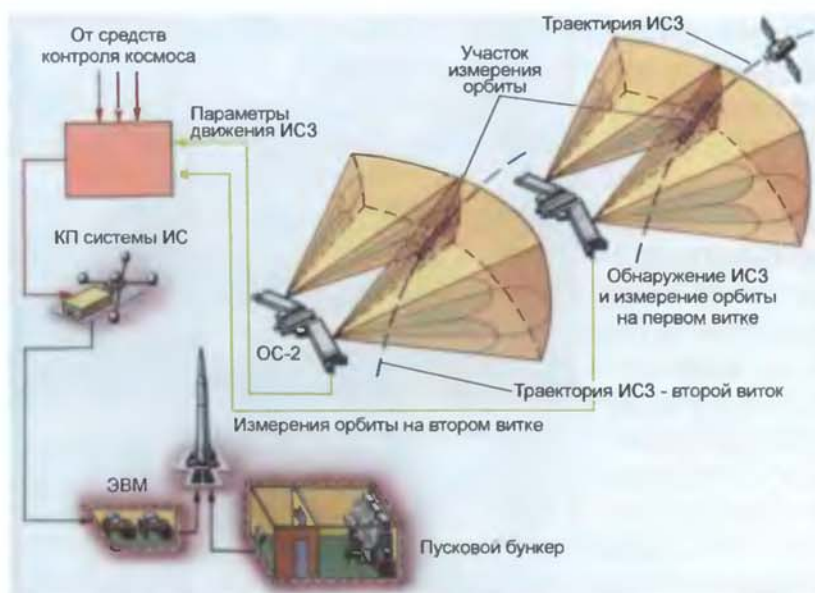


Рис. 6
Схема взаимодействия средств системы ИС

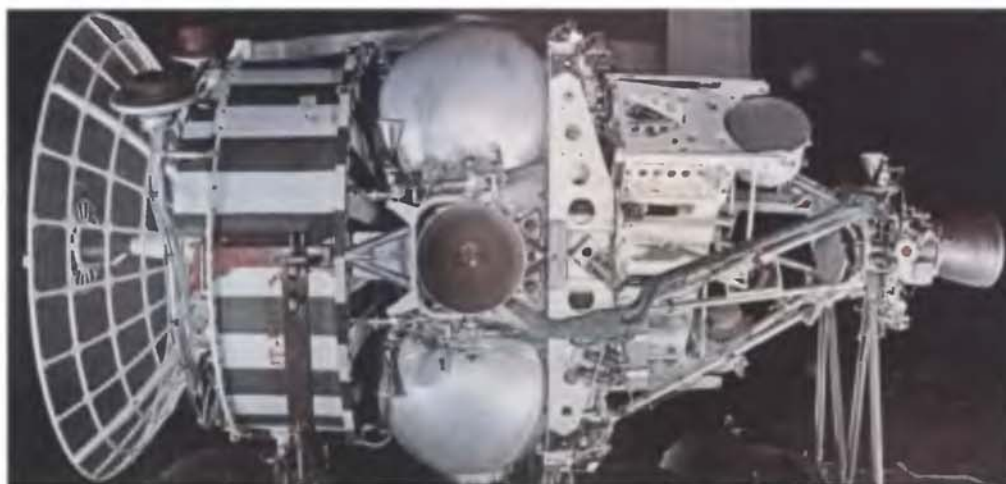


Рис. 7
Космический аппарат-перехватчик

пленным транспортно-установочным агрегатом и уложенной на нём ракетой с перехватчиком подъезжал по железнодорожному пути к стартовому столу. При наезде на специальные контакты рельсовой предстартовой конструкции электровоз автоматически отцеплялся и уходил в тупик.

Специальная цапфа стартовой позиции захватывала транспортно-установочный агрегат и подтягивала его к столу. Затем производилась автоматическая стыковка заправочных горловин топлива, всех электрических соединений и воздушных трубопроводов.

После того как на пульте управления загоралась зелёная лампочка, сигнализирующая об окончании стыковки, ракета-носитель начинала подниматься в вертикальное положение, устанавливаясь на опоры стартового стола. Далее боевой расчёт производил заправку ракеты и вводил боевые программы.

Старт ракеты происходил автоматически по сигналу системы единого времени (СЕВ).

В состав РКК входили:

- ракета-носитель;
- космический аппарат;
- техническая позиция для подготовки космических аппаратов и РН;
- стартовая позиция, включающая два открытых стартовых стола и средства для обеспечения предстартовой подготовки и пуска.

Для реализации проекта требовалось проведение большого количества сложных научных исследований.

Заказывающим управлением было 4 ГУ МО, которым в то время руководил легендарный летчик, Герой Советского Союза, генерал-



Рис. 8

Вывоз ракеты-носителя с космическим аппаратом на стартовую позицию

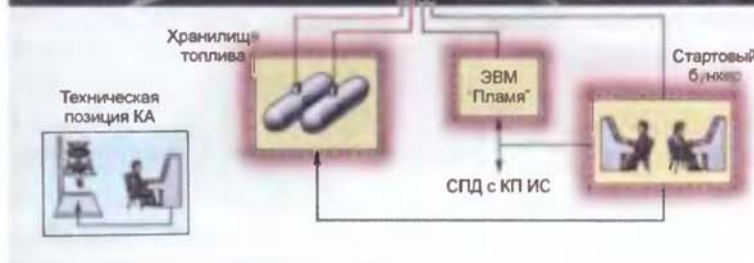


Рис. 9

Схема стартового комплекса ИС



Рис. 10
Заместитель
начальника ГУ МО
СССР М.Г. Мыррин

полковник Г.Ф. Байдуков. В его управлении этой тематикой занималось подразделение, возглавляемое генерал-лейтенантом М.Г. Мырриным.

Быстрыми темпами шли проектирование, изготовление и монтаж технического и инженерного оборудования на всех объектах. Объекты контроля космического пространства находились в Иркутске (ОС-1) и Балхаше (ОС-2); техническая и стартовая позиция — на Байконуре; командный пункт — в Московской области, под Ногинском.

К 1967 г. основные технические средства системы прошли наземную отработку и были подготовлены к летным испытаниям.

С 1968 г. стали проводиться пуски штатных космических аппаратов.

1 ноября 1968 г. впервые в мировой практике был осуществлён перехват ИСЗ-цели. Этот КА-перехватчик числится под шифром «Космос-252».

В 1973 г. после серии удачных пусков система ПКО «ИС» была принята в эксплуатацию. В последующие годы была проведена модернизация средств, и в 1978 г. система была принята на вооружение Советской Армии.

При создании комплекса «ИС», представлявшего собой большую, сложную территориально распределенную систему, работавшую при жёстком централизованном управлении в автоматизированном режиме в масштабе реального времени, были решены многие сложные научные и технологические проблемы. Одна из них — создание космического аппарата, обладавшего высокими энергетическими характеристиками, позволявшими ему двигаться в большом диапазоне высот, маневрировать на орбите с целью предварительного наведения и самонаведения на ИСЗ-цель. Аппаратура управления обеспечивала формирование необходимых сигналов целенаправленного маневрирования, а радиотехническая аппаратура проводила высокоточные измерения положения КА на орбите. Контур самонаведения на цель, включавший в себя головку самонаведения, двигательную установку, аппаратуру стабилиза-



Рис. 11
Средства контроля космического
пространства



Рис. 12
Космический аппарат-перехватчик
на тележке

ции и ориентации, позволял вывести КА к цели с большой точностью, что давало возможность поражать ИСЗ-цель с высокой эффективностью.

Стартовая и техническая позиции осуществляли в автоматическом режиме прием с командного пункта программ полёта ракеты-носителя и КА-перехватчика и ввод их на борт РН и КА.

Подготовка к запуску, включавшая в себя автоматический контроль систем РН и КА, вывоз противоспутника и установку его на стартовый стол, заправку РН и старт, занимала 6 минут с момента поступления с командного пункта системы приказа на пуск.

Радиолокационные станции обнаружения ИСЗ-целей и измерения параметров их орбит позволяли сформировать информацию целеуказания с высокой точностью.

Командный пункт комплекса со всеми составными частями был объединен системой связи и передачи информации, работавшей с высокой надёжностью и достоверностью. Вся командная и управляющая информация формировалась в вычислительном комплексе КП и автоматически передавалась адресатам. Все средства автоматизации на КП, разработанные в КБ-1 для этого комплекса, были оригинальными, обладали высокой надёжностью, снабжались средствами контроля и многократно резервировались. Программы вычислительного комплекса осуществляли управление наземными и бортовыми средствами системы в реальном масштабе времени.

Для измерения параметров движения КА-перехватчика и передачи на его борт программы коррекции движения КА по орбите была создана уникальная станция — интерферометр. Измерения производились за один проход с высокой точностью.

США отказались от размещения ядерного оружия в космосе.

После объявления в 1983 г. руководством СССР моратория на прекращение испытаний противоспутниковых систем реальные пуски ИСЗ-перехватчиков прекратились.

Тем не менее работы по модернизации комплекса продолжались без проведения натурных испытаний, и в 1991 г. был принят в эксплуатацию модернизированный комплекс ПКО ИС-МУ. В усовершенствованном комплексе были реализованы различные варианты перехвата, в том числе работа по маневрирующей цели и перехват ИСЗ-цели на пересекающихся курсах.

Испытания проводились на модельных установках, сопряженных с реальной аппаратурой системы.

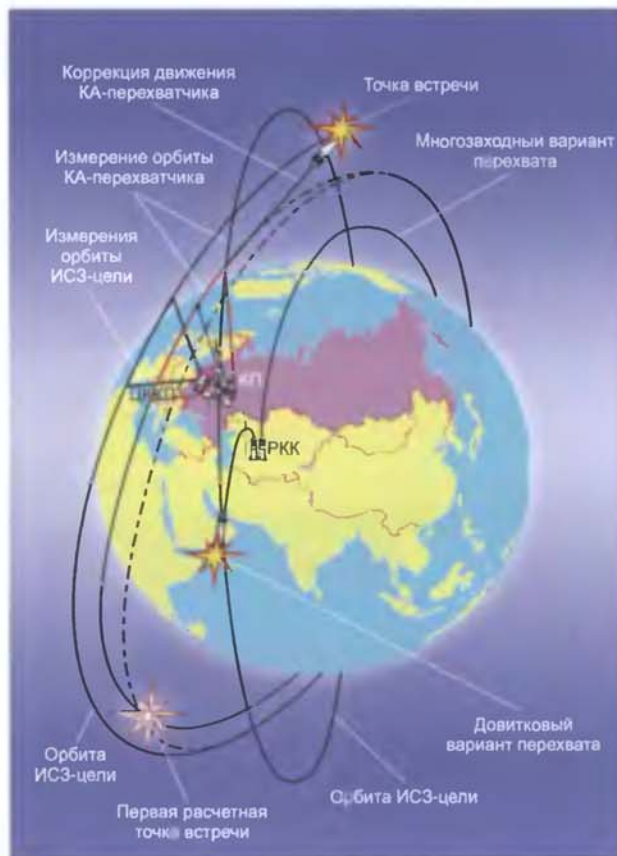


Рис. 13

Схема функционирования комплекса ИС

При проведении этих работ сформировался коллектив учёных и инженеров ЦНИИ «Комета» и предприятий кооперации. Был создан уникальный сложнейший высокоавтоматизированный боевой космический комплекс, не имевший аналогов в мире, решены сложные научные и технологические проблемы, которые и по сей день не потеряли своей значимости и актуальности. Большая группа сотрудников ЦНИИ «Комета» и предприятий кооперации была награждена орденами и медалями СССР, многие удостоились званий лауреатов Государственной премии. Ленинской премией были награждены А.И. Савин и К.А. Власко-Власов. Большой вклад в создание боевого космического комплекса внесли А.М. Аваев, В.Ф. Гребенкин, А.Н. Давыдов, В.С. Игнатов, В.В. Крохин, М.М. Креймерман, Э.Я. Кузнецов, Л.А. Лебедев, Л.С. Легезо, И.М. Мошкунов, И.Г. Рапорт, Е.М. Сотников и др.

Система морской космической разведки и целеуказания «УС»

В период холодной войны основную угрозу для СССР и стран Варшавского договора представляли авианосные ударные соединения, на которых был сосредоточен значительный ядерный потенциал. Военно-политическое руководство СССР противодействие авианосным соединениям и трансконтинентальным конвоям считало важнейшей задачей обороны страны. В конце 1950-х гг. в ОКБ-52 было создано эффективное противокорабельное оружие — самонаводящиеся оперативно-тактические крылатые ракеты с большой дальностью действия для оснащения подводных лодок и надводных кораблей ВМФ. Этим ракетам для их загоризонтного пуска на большие дальности требовалась информация о морской обстановке для предварительного целеуказания.



Рис. 14

Схема боевого использования системы

Авиационные средства не способны были полностью решить эту задачу. Успехи СССР в области создания искусственных спутников Земли привели к принятию решения об использовании для этих целей космических аппаратов, оборудованных средствами всепогодного наблюдения за надводными кораблями.

В 1961 г. по постановлению правительства кооперация головных исполнителей приступила к созданию экспериментальной системы:

- ОКБ-52 (В.Н. Челомей) — головная организация по системе в целом, головной разработчик КА и ракеты-носителя (РН);
- КБ-1 (А.А. Расплетин) — головная организация по системе управления и радиоэлектронным комплексам системы, головной разработчик бортовых и наземных средств управления, включая бортовую систему ориентации и стабилизации КА;

- НИИ-648 (А.С. Мнацаканян) — головная организация по комплексу наблюдения и головной разработчик наземных средств обработки информации наблюдения;
- НИИ-17 (И.А. Бруханский) — головной разработчик бортовых средств наблюдения;
- НПО «Квант», г. Киев (Т.Е. Стефанович) — головной разработчик корабельного комплекса приема информации наблюдения.

НИИ-17 для обнаружения надводных кораблей предложил использовать импульсную РЛС бокового обзора и пассивный пеленгатор сигналов корабельных радиотехнических средств, поручив его разработку калужскому филиалу ЦНИИ-108 (П.С. Плешаков, С.И. Бабурин). Проработки показали, что невозможно было обеспечить электромагнитную совместимость сложного передатчика РЛС с высокочувствительным и широкополосным приемником пассивного пеленгатора. В связи с этим было решено создавать два типа КА — с активной РЛС (шифр УС-А) и со станцией детальной радиотехнической разведки (шифр УС-П).

Разрабатываемая НИИ-17 РЛС накладывала ограничение по высоте полёта КА УС-А (не более 270 км) и требовала большой электрической мощности от бортовой системы электроснабжения. Небольшая высота полёта приводила к заметному аэродинамическому торможению КА, особенно при питании бортовой аппаратуры от солнечных батарей с требуемой мощностью. Решение было найдено: в качестве бортового источника энергии было предложено использовать бортовую атомную энергоустановку, разработка которой была поручена ОКБ-670 (М.М. Бондарюк) при научном руководстве со стороны Физико-энергетического института (А.И. Лейпунский).

Работы по созданию радиационно-стойкой бортовой аппаратуры КА УС-А выполнялись сотрудниками КБ-1 по специально разработанной программе. Научное руководство работы осуществлялось сотрудниками института атомной энергии им. И.В. Курчатова. Вопросы, связанные с созданием аппаратуры, регулярно обсуждались на советах главных конструкторов в Министерстве



Рис. 15

Космический аппарат радиолокационного наблюдения

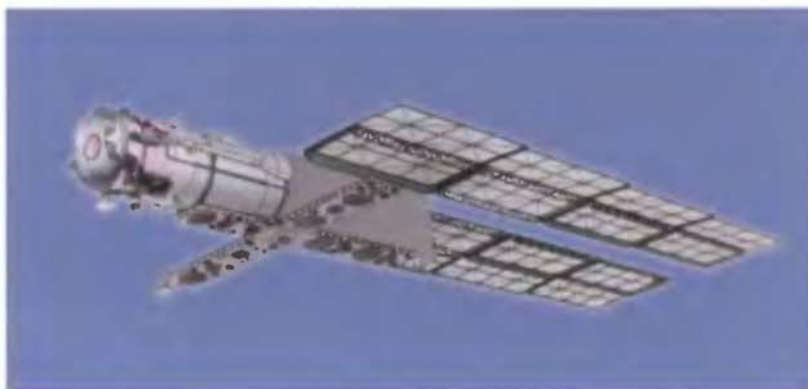


Рис. 16

Космический аппарат радиотехнического наблюдения

среднего машиностроения. В результате впервые в мире была создана длительно работающая радиационнотойкая аппаратура КА, не имеющая аналогов до настоящего времени.

На КА типа УС-П, потреблявших меньше электроэнергии, устанавливался источник энергии, использующий солнечное излучение. Созданием такого источника энергии начали заниматься специалисты ОКБ-52 и предприятий кооперации.

Требования к беспропускному обзору акваторий Мирового океана и получению нашими кораблями и подводными лодками информации наблюдения от космических аппаратов в беззапросном режиме привели к необходимости построения взаимодействующей системы КА и периодической коррекции их орбитального движения. Ракетаноситель типа УР-200 могла вывести КА только на баллистическую траекторию с высотой апогея, соответствовавшей высоте круговых орбит КА. Потребовалась многофункциональная двигательная установка доразгона, коррекции и стабилизации с тремя типами двигателей разной тяги.

В 1965 г. головной организацией по системе «УС» было назначено КБ-1. Работы по системе «УС» в КБ-1 были поручены ОКБ-41 (главный конструктор А.И. Савин, зам. главного конструктора М.К. Серов).

После образования в 1973 г. ЦНИИ «Комета» главным конструктором системы был назначен М.К. Серов, с 1985 г. — Г.Ф. Зотов, с 1995 г. — С.А. Мишуков, а с 2002 г. — А.М. Бычков.

На начальном этапе специалисты ОКБ-41 (впоследствии ЦНИИ «Комета») и других подразделений КБ-1 столкнулись с необходимостью решения целого ряда новых для них научно-технических проблем, главными из которых были:

- создание бортовой аппаратуры в микроминиатюрном исполнении, способной надёжно работать в течение длительного времени и под воздействием сильных радиационных потоков от бортового реактора;

- разработка точной системы ориентации и стабилизации, обеспечивающей построение орбитальной системы координат, непрерывную (в течение всего срока существования КА) ориентацию осей координат в плоскости орбиты и стабилизацию КА



Рис. 17
Главный конструктор
М.К.Серов



Рис. 18
Главный конструктор
Г.Ф.Зотов



Рис. 19
Главный конструктор
С.А.Мишуков



Рис. 20
Главный конструктор
А.М.Бычков

относительно осей орбитальной системы координат с точностью, позволяющей выполнить основную задачу;

- оптимальное построение орбитальной группировки системы, обеспечивающей беспрепятственный обзор акваторий Мирового океана;
- точное измерение параметров орбитального движения КА за минимальное время, прогнозирование изменения параметров движения КА за время до следующего их измерения, поддержание расчётных параметров движения в течение всего срока существования КА системы для осуществления беззапросного вступления в связь корабельных комплексов с КА системы.

Точное измерение координат КА обеспечивалось наземным радиointерферометром, работавшим по ретранслированному с КА радиосигналу.

В 1964 г. в связи с объявлением моратория на проведение наземных ядерных взрывов возникла проблема радиационной безопасности при сходе КА УС-А с орбиты. Решение ее на уровне изобретения было предложено группой ведущих специалистов ОКБ-41. Смысл этого изобретения заключался в автоматическом уводе радиационно-опасной части КА УС-А на орбиту с длительным временем его существования, за которое обеспечивается «высвечивание» радиоактивности. Команда на увод формировалась по сигналам от датчиков, фиксирующих необратимый отказ КА.

Проектирование и испытание системы осложнялись большой и сложной кооперацией и некоторыми организационными трудностями. Серьезный вклад в оперативное решение возникавших по ходу работ вопросов внесли сотрудники Оборонного отдела ЦК КПСС и Комиссии СМ СССР по военно-промышленным вопросам. Особо следует отметить роль Н.Н. Дединова и Н.А. Душенькина.

Автоматизированный комплекс запуска ракеты-носителя с КА системы «ИС», созданный КБ транспортного машиностроения (руководитель В.Н. Соловьев), позволил создать автоматическую систему управления запуском ракеты-носителя по сигналам системы единого времени без участия человека, что обусловило точность выведения КА по времени. Этот опыт был использован при создании комплекса запуска ракеты-носителя с КА системы «УС».

С учётом особой сложности и новизны бортовой техники и новых условий практического применения лётная отработка средств и системы в целом проводилась в три этапа.

На первом этапе (1965–1966 гг.) были запущены 2 КА УС-А, оборудованные системой ориентации и стабилизации инерциального и орбитального типов для отработки построения и поддержания трёхосной ориентации и измерения точностных характеристик системы ориентации.

Инерциальная ориентация обеспечивалась разработанной в КБ-1 трёхосной гироскопической платформой, которая корректировалась по сигналам астрономической системы «Нептун».

Орбитальная система состояла из гироорбитанта и инфракрасной вертикали. Показатели орбитальной системы ориентации сравнивались с показателями инерциальной системы, которая принималась за эталон. В результате испытаний в качестве окончательного варианта системы ориентации КА была выбрана орбитальная.



Рис. 21
Ракета-носитель
с космическим аппаратом УС-П на
старте

На втором этапе испытаний (1967–1969 гг.) отрабатывались системы радиуправления и увода. Необходимо было определить все характеристики системы управления в режимах измерения координат КА и передачи команд управления орбитальной группировкой. В это время на орбиту было запущено два КА УС-А без бортовой атомной электростанции.

В связи с тем, что большая часть аппаратных решений к этому времени была уже испытана, отработка программного обеспечения и испытания бортовых средств управления прошли без особых трудностей и закончились с положительными результатами.

На третьем этапе (1970–1975 гг.) на КА УС-А были проведены эксперименты с комплексом наземных средств системы и корабельными средствами в полной штатной комплектации. Необходимо было не только проверить выполнение всех пунктов тактико-технических требований, но и проиграть различные тактические ситуации.

Первые два пуска оказались неудачными. КА трёх последующих пусков не обеспечили заданный срок активного существования из-за отказов двигателей стабилизации, и только после тщательной доработки этих устройств следующие три пуска позволили успешно завершить испытания системы.

В 1975 г. система морской космической разведки и целеуказания (МКРЦ) с КА УС-А была принята на вооружение.

Бортовая атомная установка оставалась самым критическим звеном. Принятые разработчиками КА УС-А меры не всегда гарантировали увод радиационно-опасной части КА на орбиту с длительным сроком его существования.

Сложная аварийная ситуация сложилась на КА УС-А («Космос-954»), запущенном 18 сентября 1977 г. 6 января 1978 г. произошла внезапная разгерметизация приборного отсека, и КА начал неуправляемое снижение. Попытки восстановить его управляемость результатов не дали. Исполнение разовой команды на увод радиационно-опасной части КА на орбиту длительного существования не произошло. По данным прогноза КА должен был войти в плотные слои атмосферы и прекратить свое существование 24 января 1978 г. над акваторией Тихого океана в районе Алеутских островов. Эта информация была доведена до правительства США и других стран. Однако КА прекратил свое существование в расчётную дату над северной частью Канады. Советское правительство вступило в контакт с правительством Канады и предложило помощь при ликвидации возможных последствий падения на канадскую территорию отдельных частей КА. Однако правительство Канады ответило отказом.

Как выяснилось позже, угрозы для населения района в связи с падением остатков КА не было.

С учётом этого события разработчики атомной энергоустановки произвели доработки с целью внедрения дополнительных мер, обеспечивавших радиационную безопасность. Была разработана и включена в состав установки дополнительная система, обеспечивающая разрушение конструкции реактора и диспергирование радиоактивных материалов до мелких частиц, излучение которых не будет превышать уровня естественного радиационного фона Земли. Несмотря на принятые разработчиками меры, в 1988 г. было принято решение о приостановлении запусков космических аппаратов типа УС-А.

В 1974–1977 гг. проводились испытания системы «УС» с КА УС-П. Пуски и работа бортовых средств были уже достаточно отработаны, и испытания прошли более успешно. В 1978 г. проверка комплексной орбитальной группировки и всех наземных и корабельных средств системы морской космической разведки и целеуказания завершилась с положительной оценкой заказчика. Система была принята в эксплуатацию. Совершенствование и модернизация системы производились в процессе эксплуатации. В 1986–1987 гг. были проведены испытания бортовой электростанции «Тополь», электрореактивных двигателей коррекции и стабилизации, высокоточных лазерных датчиков угловых скоростей.

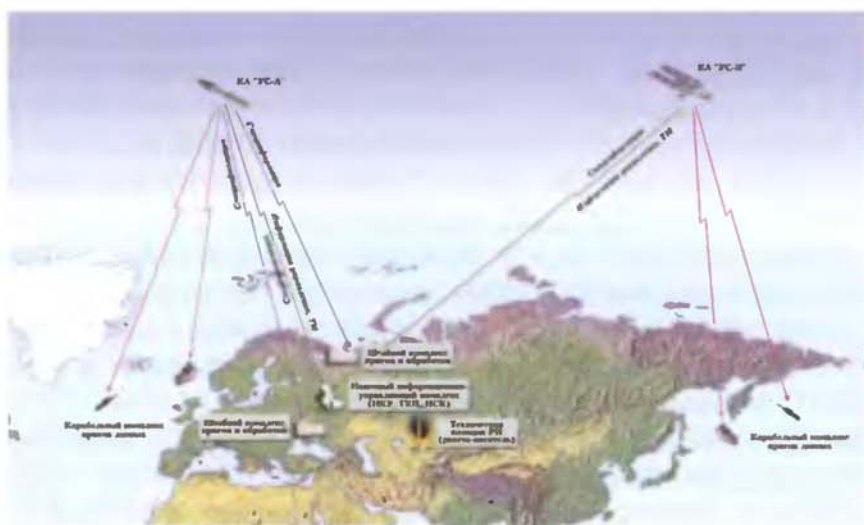


Рис. 22 Система морской космической разведки и целеуказания



Рис. 23 Корабль с комплексом приема информации с КА системы



Рис. 24
Пуск ракеты с надводного корабля после приема информации с КА системы

Система являлась надёжным космическим комплексом, обеспечивавшим обороноспособность нашего государства, вносила значительный вклад в поддержание стратегической стабильности. Высокую эффективность она показала во время англо-аргентинского конфликта в 1982 г. из-за Фолклендских островов. По данным этой системы руководство ВМФ своевременно смогло предсказать место и время высадки английского десанта, были точно отслежены пути отхода поврежденных кораблей на базы.

За создание системы МКРЦ многие работники промышленности и Министерства обороны были награждены орденами и медалями СССР, а ведущие сотрудники НИИ и КБ, МО СССР – Ленинской и Государственной премиями.

Главный конструктор системы М.К. Серов был удостоен звания лауреата Ленинской премии. Государственная премия была присуждена В.П. Васюкову, Г.Ф. Зотову и Ю.А. Маленюку.

Большой вклад в создание системы внесли В.Н. Алексеев, А.Д. Артемов, В.И. Бокарев, А.В. Гончаренко, К.И. Денисов, Ю.В. Маленюк, И.А. Мошкунов, А.Г. Шилкин и др.



Рис. 25
Подводная лодка с комплексом приема информации с КА системы



Рис. 26
Пуск ракеты с подводной лодки после приема информации с КА системы

В соответствии с правительственным постановлением и приказом МО СССР заказчиком системы МКРЦ был определен ВМФ, заказывающим управлением — Управление ракетно-артиллерийского вооружения ВМФ, которое возглавлял В.А. Сычев, а с 1971 г. — Новоселов Ф.И. Военно-научное сопровождение разработки системы выполнял Институт вооружения ВМФ, который возглавлял Н.И. Баравенков.

Значительный вклад в создание системы внесли сотрудники специального Центра ВМФ, обеспечивавшего управление системой МКРЦ. Следует отметить руководителей Центра: И.К. Калненко, Г.Ф. Дицкого, В.Ф. Сухоручкина, В.Ф. Косоротова и В.В. Гольдибаева.

Космические системы обнаружения стартов баллистических ракет

В 1960–1970-е гг. в условиях холодной войны и активного наращивания ракетно-ядерных arsenалов США и СССР определяющее место в военной доктрине нашей страны стала занимать концепция стратегического ядерного сдерживания вероятного агрессора, основанная на угрозе эффективных ответных действий с неприемлемым для него ущербом. Ключевую роль при реализации этой концепции играла система предупреждения о ракетном нападении (СПРН), которая должна была удовлетворять следующим основным требованиям:

- обеспечивать максимально возможное время на подготовку ответных действий;
- выдавать сигналы предупреждения с максимально высокой достоверностью;
- обеспечивать максимально достижимые показатели непрерывности наблюдения ракетоопасных районов.

Выполнение этих требований оказалось возможным только при построении СПРН в виде двух эшелонов: космического и наземного, реализующих в реальном масштабе времени автоматическую обработку специальной информации с последующим объединением ее результатов и выдачей сигналов предупреждения соответствующим органам управления.

Космическая система обнаружения стартов межконтинентальных баллистических ракет наземного базирования

По инициативе командования войск ПВО в 1965 г. ОКБ-41 в составе КБ-1 (позже МКБ «Стрела» и ЦКБ «Алмаз») была поручена разработка технических предложений по оценке возможностей создания космической системы, обеспечивающей раннее обнаружение стартов межконтинентальных баллистических ракет (МБР) с континентальной части территории США.

Космическая система должна была обеспечивать обнаружение одиночных, групповых и массового стартов МБР круглосуточно во все времена года в течение многих лет и выдавать с высокой достоверностью такие данные, как время старта, его координаты и количество стартовавших ракет.

По исходному замыслу в состав системы должны были входить группировка космических аппаратов (КА), наземный командный пункт (КП) управления и обработки информации, комплексы подготовки и вывода КА на орбиту, а также средства обмена информацией с командным пунктом СПРН.

Обнаружение стартующих МБР и определение параметров их траекторий предполагалось осуществлять по результатам наблюдения излучения факела двигательной установки ракеты на активном участке траектории ее полёта в инфракрасном диапазоне оптического спектра с помощью бортовой аппаратуры обнаружения (БАО), размещаемой на КА. Передаваемая с КА информация должна была обрабатываться в реальном масштабе времени на наземном командном пункте и по каналам системы передачи данных (СПД) поступать на КП СПРН. При этом интервал времени от момента фактического старта МБР до выдачи информации на КП СПРН должен был составлять единицы минут.

Однако для успешной реализации этого достаточно ясного концептуального замысла пришлось пройти долгий и тяжелый путь теоретических и экспериментальных исследований, поиска наилучших технических решений, конструкторской и технологической проработки, а также материализации идей и замыслов в реальных образцах аппаратуры, алгоритмов и программ.

Первый этап научных исследований заключался в изучении фоноцелевой обстановки (ФЦО), проектировании высокочувствительных фотоприёмных устройств, способных в условиях космоса обнаруживать сигналы от стартующих ракет, разработке алгоритмов, позволявших из большого потока информации выделять полезные признаки на фоне помех.

С этой целью по решению Комиссии по военно-промышленным вопросам при СМ СССР в 1970 г. был создан межведомственный научно-технический координационный совет (МНТКС) по изучению фонов и факелов. Председателем совета был назначен член-корреспондент АН СССР М.М. Мирошников — директор ГОИ им. С.И. Вавилова.

Кроме того, в короткие сроки в Сосновом Бору под Ленинградом был создан комплексный моделирующий стенд, на котором в приближенных к космическим условиям можно было проводить светотехнические испытания различных типов БАО (позднее в Сосновом Бору был создан специализированный НИИ комплексных испытаний оптико-электронных приборов и систем).

Начались широкомасштабные натурные наземные, самолётные, аэростатные и космические (в том числе с участием космонавтов) измерения характеристик ФЦО. На первом этапе наиболее трудной оказалась проблема выбора типа бортовой аппаратуры обнаружения. В арсенале знаний и опыта разработчиков БАО было два метода фотопреобразования: дифференциальный (сканирующая линейка фотоприёмников) и интегральный (неподвижная в фокальной плоскости матрица фотоприёмников).

Аппаратура, создаваемая на основе первого метода, получила название БАО тепlopеленгационного типа (БАО ТП-типа), а на основе второго — БАО телевизионного типа (БАО ТВ-типа). Отдать предпочтение без глубокого анализа одному из двух типов БАО в то время оказалось практически невозможно, поэтому к работам по данной проблеме были при-

влечены почти все предметно ориентированные подразделения ОКБ-41 и кооперации предприятий-смежников. Дело в том, что тип БАО и ее пороговая чувствительность являлись ключевыми параметрами предполагаемой космической системы, в определяющей мере влиявшими на её облик и орбитальную группировку КА.

В результате трёх лет упорного труда впервые были разработаны принципы обнаружения стартов ракет с низких орбит обоими типами БАО, на концептуальном уровне представлена структура космической системы. В соответствии с замыслом для непрерывного контроля заданного района необходимо было иметь в орбитальной группировке не менее 50 КА, что по тем временам было неприемлемо. Практически создание такой системы было признано нереальным.

В то же время по решению начальника ОКБ-41 А.И. Савина была создана межведомственная инициативная группа во главе с заместителем начальника ОКБ-41 В.М. Шабановым, задачей которой было исследование возможности создания БАО, способной обнаруживать факелы двигательной установки МБР с дальности ~ 40 000 км, что позволило бы перейти к высокоорбитальной группировке с ограниченным числом КА.

В результате интенсивной работы, прежде всего коллектива ВНИИТ под руководством П.Ф. Брацлавца, в достаточно короткий срок была научно и инженерно-технически обоснована возможность создания БАО ТВ-типа, удовлетворявшей вышеприведенному требованию по дальности обнаружения. Несколько позже под руководством и непосредственным участием главного конструктора ЦКБ «Геофизика» Д.М. Хорола аналогичный результат был получен в отношении БАО ТП-типа.

Одновременно с решением проблемы чувствительности бортовой аппаратуры обнаружения в ОКБ-41 разрабатывались вопросы системно-технического построения всех средств, которые должны были выполнять требования по качеству обнаружения в их комплексном взаимодействии. Результаты этой работы нашли свое отражение в первом эскизном проекте (ЭП) высокоорбитальной системы. Отработка основных формулировок требований тактико-технического задания, как одного из результатов ЭП, происходила в тесном взаимодействии с заказывающим управлением Министерства обороны под руководством генерала М.И. Ненашева. Были выработаны требования по качеству обнаружения (вероятности правильного и ложного обнаружения одиночных и групповых целей, покрытию районов мест запуска МБР, помехозащищённости, точности определения параметров траекторий МБР и коэффициенту готовности средств системы).

На основании рассмотрения результатов эскизного проекта по созданию космической системы раннего обнаружения стартов МБР с орбитальной группировкой в со-



Рис. 27
Орбитальная группировка
космического эшелона

ставе 8–9 КА, расположенных на высокоэллиптических орбитах, в МО СССР 5 августа 1969 г. были утверждены ТТТ на создаваемую систему.

Постановлением ЦК КПСС и СМ СССР от 29 сентября 1969 г. были определены головное предприятие — МКБ «Стрела» (а в нем непосредственно ОКБ-41, позже ЦНИИ «Комета») и кооперация предприятий-смежников по созданию такой системы.



Рис. 28
Главный конструктор
В.Г.Хлибко

Дальнейшие события носили ярко выраженный драматический характер. Дело в том, что по указанию Оборонного отдела ЦК КПСС к работе по созданию системы (на консультативном уровне) был привлечен ряд НИИ АН СССР. В результате появилось заключение на эскизный проект по созданию высокоорбитальной системы обнаружения стартов МБР, подписанное шестью академиками, в котором ставилась под сомнение сама возможность выделения полезного сигнала от факела двигательной установки ракеты на фоне собственных шумов БАО при дальности до источника излучения ~ 40 000 км.

Завязалась жаркая дискуссия между сторонниками и противниками концепции построения космической высокоорбитальной системы. В итоге по инициативе А.И. Савина и Г.Н. Бабакина (НПО им. С.А. Лавочкина), поддержанной Военно-научным комитетом Комиссии по военно-промышленным вопросам при СМ СССР, было принято решение, не снижая темпов создания системы в соответствии с эскизным проектом, провести ряд натурных работ, т. е. экспериментально доказать правильность предложенных технических решений по применению высокоорбитальной группировки КА для задач обнаружения стартов МБР.

В 1971 г. Комиссия по военно-промышленным вопросам при СМ СССР приняла решение, разрешавшее разработку нескольких экспериментальных КА, оснащенных БАО ТВ- и ТП-типов, и проведение их натурных пусков для проверки реальной возможности обнаружения стартов МБР с апогейного участка полусуточной высокоэллиптической орбиты. Непосредственное руководство работами по экспериментальному этапу создания системы было поручено А.И. Савину и Г.Н. Бабакину.

Без преувеличения определяющая роль организатора работ по созданию экспериментального КА принадлежала заместителю главного конструктора НПО им. С.А. Лавочкина А.Г. Чеснокову. Ему с комплексной группой специалистов из НПО им. С.А. Лавочкина и ОКБ-41 практически за полтора года удалось разработать первый экспериментальный КА, который был запущен 19 сентября 1972 г. с космодрома Плесецк («Космос-520»). Эту дату можно считать днём рождения в СССР космической системы обнаружения стартов МБР первого поколения.

На борту КА, кроме аппаратуры управления и передачи информации, были установлены два варианта экспериментальной бортовой аппаратуры обнаружения ТВ- и ТП-типов.

На апогейном участке высокоэллиптической орбиты КА с трёхосной ориентацией отслеживал заданный район земной поверхности, с которого должна была стартовать МБР или ракета-носитель (РН). В ходе эксперимента БАО ТВ-типа был уверенно зафиксирован сигнал от факела

двигательной установки стартовавшей отечественной ракетой 8К78 с космодрома Плесецк.

В декабре 1973 г. был подготовлен и произведен запуск на высокоэллиптическую орбиту второго экспериментального КА «Космос-626», который обнаружил старты нескольких отечественных РН и МБР одновременно двумя типами БАО. Результаты вселили в разработчиков и заказчика уверенность в том, что создание космической системы находится на правильном пути.

В июне 1974 г. был запущен на высокоэллиптическую орбиту третий, доработанный экспериментальный КА «Космос-665». Результаты экспериментов с доработанной БАО были еще более значительными. Так, 24 декабря 1974 г. с помощью БАО ТВ-типа был впервые обнаружен реальный старт с Западного ракетного полигона США МБР «Минитмен-1» и произведено сопровождение всего активного участка траектории ее полёта.

Экспериментальные пуски продолжались. В 1975 г. были изготовлены и запущены еще два КА: в январе — на высокоэллиптическую орбиту и в октябре — на геостационарную.

В 1975 г. полным ходом шло проектирование и изготовление штатных средств системы. Её создание потребовало многих лет интенсивной работы многотысячных коллективов учёных, инженеров и рабочих самых различных специальностей. Только к созданию бортовых средств КА было привлечено более 50 НИИ, КБ и заводов.

Серьезную проблему для ЦНИИ «Комета» представляла не имевшая аналогов разработка алгоритмов бортового комплекса управления КА, обеспечивавшего наведение БАО на заданный район и выполнение циклограммы работы бортовых средств при длительном автономном функционировании КА без передачи с КП команд управления.

Четкая организация, целеустремленность разработчиков, их высокая квалификация, большая помощь со стороны Министерства обороны и Комиссии по военно-промышленным вопросам при СМ СССР, лично Л.И. Горшкова и В.М. Каретникова, позволили уже в 1976 г. подготовить первую очередь всех средств системы к лётным испытаниям.



Рис. 29

Подготовка к старту ракеты-носителя «Союз» на космодроме Плесецк



Рис. 30

Космический аппарат системы первого поколения

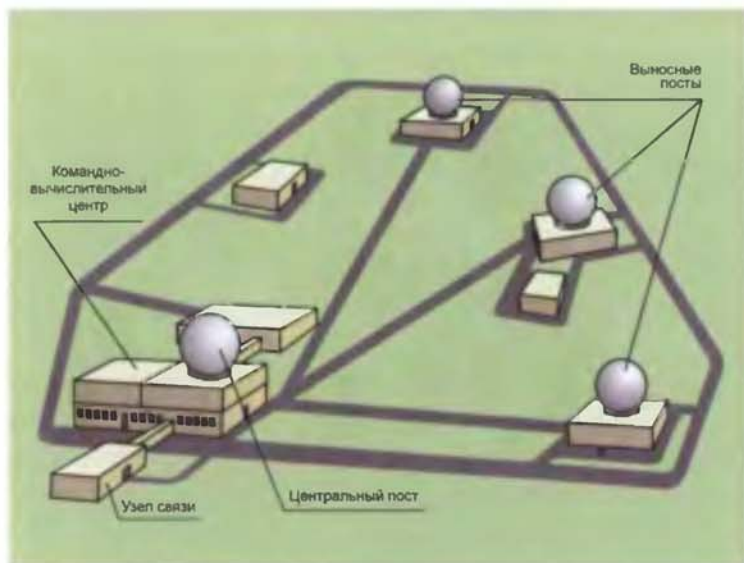


Рис. 31
Командный пункт системы

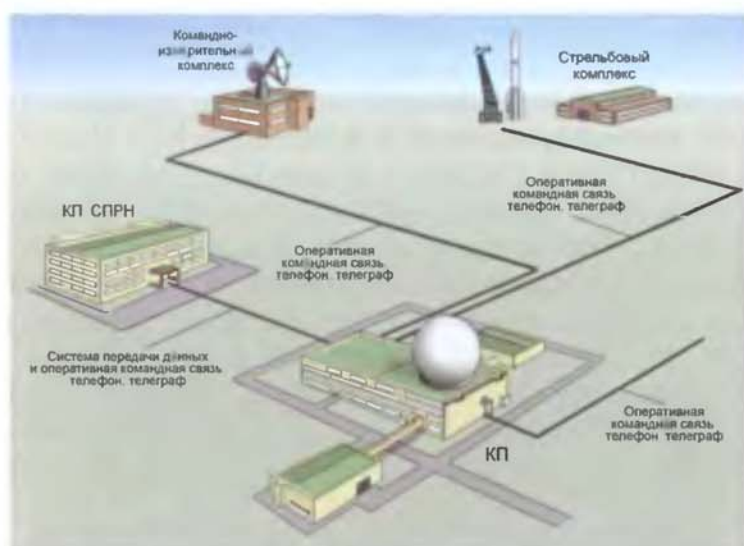


Рис. 32
Структура внешних связей
командного пункта системы

В октябре 1976 г. первый КА, оборудованный по штатной схеме, был запущен на высокоэллиптическую орбиту, начались испытания с целью установить соответствие получаемых характеристик требованиям технического задания и отработать программно-алгоритмическое обеспечение управления КА и средствами системы (ПАО-У и ПАО-А) и программно-алгоритмическое обеспечение обработки специальной информации (ПАО-О).

К моменту запуска этого КА ПАО-У и ПАО-А были достаточно хорошо отлажены с использованием различного рода имитаторов, что позволяло обеспечивать автоматизированное управление аппаратом и средствами системы.

К сожалению, ПАО-О требовало существенных доработок. Основными проблемами при этом были недопустимо низкие показатели по достоверности информации обнаружения (малая вероятность правильного обнаружения и большой поток ложных тревог) и устойчивости функционирования вычислительного комплекса (ВК) КП на базе ЭВМ М-10.

Объективный характер сложности решения указанных проблем заключался в их новизне. Особую трудность представляла проблема достижения в процессе разработки требуемой вероятности обнаружения концентрированных по времени групповых стартов МБР, а при испытаниях — проблема ее оценки из-за отсутствия возможности фактического наблюдения таких стартов. Выходом из создавшегося положения стала разработка цифровой имитационной модели входного воздействия в реальном масштабе времени, включавшей в себя модели фоно-целевой обстановки, БАО ТВ- и ТП-типов, КА и радиолинии сброса информации. Модель получила название ЦИМИТ (цифровая имитационная модель информационного тракта).

Не менее сложной оказалась проблема обеспечения устойчивости и непрерывности функционирования средств КП. Для ее решения был впервые в отечественной практике реализован межмашинный обмен между тремя ЭВМ в составе ВК, и создана сложная система функционального допускового контроля состояния КА и наземных средств, включая проверку на логическую непротиворечивость результатов вычислений в реальном масштабе времени. Это позволяло при сравнительно невысоких показателях надёжности каждой из ЭВМ добиться высоких показателей по непрерывности и устойчивости функционирования ВК в целом.

Несмотря на все предпринятые меры, полностью проблему обработки большого потока информации с борта КА в реальном масштабе времени в короткие сроки решить не удалось. Для этого потребовалось еще несколько лет работы учёных, конструкторов и программистов в составе комплексной бригады, которую возглавлял Г.В. Давыдов.

В апреле, июне и июле 1977 г. были запущены еще три КА. Они последовательно контролировали заданный район, время от времени перенацеливаясь для наблюдения плановых пусков отечественных и иностранных МБР и РН. Полным ходом шел набор характеристик фоноцелевой обстановки, уточнялись алгоритмы обработки специальной информации.

В середине 1977 г. государственной комиссией был утверждён акт с положительной оценкой характеристик КА и средств КП. Наступил завершающий этап – испытания системы в целом. Для этого в 1977–1978 гг. были запущены еще четыре аппарата. Орбитальная группировка КА полного состава вела практически непрерывный контроль заданных ракетоопасных районов. Набранная статистика по обнаружению стартов МБР и эксплуатационные показатели функционирования наземных средств позволяют произвести оценку достигнутых ТТХ системы. В конце 1978 г. актом, подписанным всеми членами государственной комиссии, было рекомендовано принять космическую систему раннего обнаружения стартов МБР первого поколения на вооружение.

Огромную роль в проведении и успешном завершении государственных испытаний этой системы наряду со специалистами промышленных предприятий также сыграли руководство и сотрудники заказывающего управления, командование и офицеры эксплуатирующих войсковых частей, испытатели 45 ЦНИИ Министерства обороны. Среди них начальник заказывающего управления, председатель государственной комиссии по испытаниям генерал М.И. Ненашев, его заместитель генерал Е.В. Гаврилин, командующий войсками РКО генерал Ю.В. Вотинцев, командующие армией генералы Н.И. Родионов и В.А. Стрельников, представители эксплуатирующих частей и военной науки В.И. Марков, А.А. Никитский, П.И. Пилецкий, П.Я. Салтанов, В.И. Шестихин, Ю.А. Диденко, Ю.Г. Ерохин, Е.В. Жадейко, А.Д. Курланов, Б.С. Скребушевский, А.С. Шаракшанэ и др.



Рис. 33
М.И. Ненашев



Рис. 34

Члены Государственной комиссии и рабочих групп по испытаниям космической системы обнаружения стартов баллистических ракет первого поколения после вручения боевого знамени эксплуатирующей части и начала боевого дежурства. 30 декабря 1982 г.



Рис. 35

Участники разработки и испытаний системы первого поколения после вручения правительственных наград и Государственных премий. 1981 г.
Сидят слева направо: Смирнов В.М., Чесноков А.Г., Поздеев А.Ф., Савин А.И., Родионов Н.И., Саркисов Б.Л., Панченко В.П., Давыдов Г.В.
Стоят слева направо: Ипатов Ю.И., Хлибко В.Г., Собинов Н.Н., Красноярский М.А., Шепетев Г.И., Батраков А.В.

16 января 1979 г. вышло постановление ЦК КПСС и СМ СССР о принятии системы в эксплуатацию. В нем было рекомендовано в период 1979–1981 гг. осуществлять опытную эксплуатацию системы силами Министерства обороны с участием представителей промышленности с целью набора статистики и приобретения опыта.

Орбитальная группировка стала пополняться серийными КА до полного состава. Однако совершенствование системы не прекращалось. В период 1977–1980 гг. ЦКБ «Геофизика» и ВНИИТ по результатам испытаний провели модернизацию БАО. С 1981 г. ЦКБ «Геофизика» для комплектации серийных КА стало поставлять значительно улучшенную БАО ТП-типа, работавшую в оптимальном для обнаружения МБР спектральном диапазоне. ВНИИТ модернизированный вариант аппаратуры ТВ-типа поставил в 1984 г.

В 1981 г. за большой личный вклад в создание космической системы обнаружения стартов БР ведущие разработчики Ц.Г. Литовченко и В.Г. Хлибко были удостоены званий лауреатов Ленинской премии, Б.А. Васченко, Г.В. Давыдов, В.В. Крохин, А.Н. Мялик, В.А. Подлесный, А.И. Савин, В.В. Синельщиков, Н.Т. Черешнев и др. — званий лауреатов Государственной премии СССР.

К концу 1982 г. совместная с промышленностью опытная эксплуатация системы успешно завершилась. Космические аппараты надёжно работали в орбитальной группировке полного состава. Средства наземного КП функционировали с высокими показателями по устойчивости и эффективности. 31 декабря 1982 г. приказом министра обороны СССР система была переведена в режим боевого дежурства в составе СПРН.

Создав систему, которая по своему замыслу и техническому исполнению была в то время одной из самых сложных и совершенных космических систем в СССР, конструкторы приступили к разработке глобальной системы обнаружения стартов межконтинентальных баллистических ракет с континентов, морей и океанов следующего поколения.

Глобальная система обнаружения стартов межконтинентальных баллистических ракет наземного и морского базирования

С размещением баллистических ракет не только на наземных (шахтных) пусковых установках, но и на подводных лодках развернулись работы по созданию космической системы обнаружения стартов МБР наземного и морского базирования второго поколения. 9 августа 1979 г. министром обороны СССР было утверждено тактико-техническое задание (ТТЗ) на космическую систему глобального обнаружения стартов МБР второго поколения.

Роль головной организации по разработке этой системы была сохранена за ЦНИИ «Комета», по созданию ракетно-космического комплекса — за НПО им. С.А. Лавочкина, по разработке БАО — за ГОИ им. С.И. Вавилова (БАО ТП-типа) и ВНИИТ (БАО ТВ-типа).

Было решено провести разработку исходных данных и концепции построения глобальной системы обнаружения стартов МБР. Основой для этого являлся значительный опыт, полученный в ходе разработки и эксплуатации системы первого поколения, и научно-технический задел



Рис. 36
Главный конструктор
Г.В.Давыдов



Рис. 37
Главный конструктор
А.Л.Алешин

по созданию ключевого элемента системы — бортовой аппаратуры обнаружения, имея в виду такие ее характеристики, как пороговая чувствительность, разрешающая способность, размеры поля зрения, темп обмена информацией. Большую роль при этом играла отработанная стендовая испытательная база как в Сосновом Бору, так и на предприятиях — разработчиках БАО.

Важнейшей проблемой создания космической систе-

мы второго поколения была разработка БАО с близким к глобальному полю зрения для наблюдения стартов ракет на фоне космоса и Земли. Это потребовало создания специального светосильного крупногабаритного космического телескопа и реализации специальных мер по исключению перегрузки матрицы фотоприемников при наблюдении освещенной Солнцем Земли.

Разработка первых лётных образцов БАО ТП-типа с крупногабаритным телескопом и внешним сканированием была поручена ГОИ им. С.И. Вавилова, изготовление серийных экземпляров должно было производиться ЦКБ «Геофизика».

В сравнительно короткие сроки БАО ТП-типа с крупногабаритным космическим телескопом была создана. Всесторонние светотехнические

испытания БАО на комплексном моделирующем стенде в Сосновом Бору показали практически полное соответствие требованиям технического задания (ТЗ) заказчика. Аппаратура была подготовлена к натурным испытаниям в условиях космоса.

Параллельно с БАО ТП-типа разрабатывалась широкопольная БАО ТВ-типа. По замыслу она должна была иметь более высокие обнаружительные характеристики, чем БАО ТП-типа. С этой целью в ее состав была введена замкнутая принудительная система глубокого охлаждения. По смелости и новизне конструкторских решений БАО ТВ-типа не имела аналогов в мировой практике

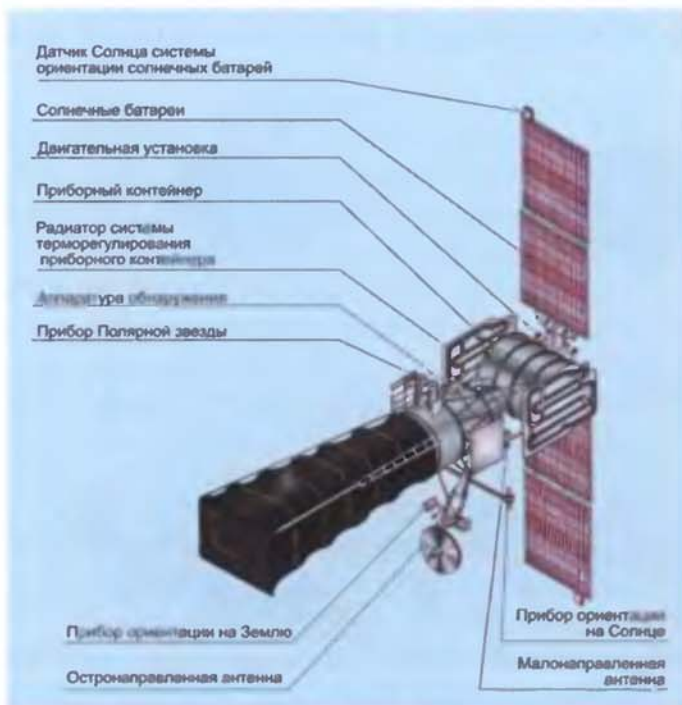


Рис. 38
Общий вид космического аппарата системы второго поколения

космического приборостроения. Проведенные во ВНИИТ светотехнические испытания опытного образца широкопольной БАО ТВ-типа показали соответствие результатов испытаний исходному ТЗ (за исключением требований по массогабаритным характеристикам). Проведение необходимых конструкторских доработок привело к некоторому отставанию (по сравнению с БАО ТП-типа) сроков изготовления первого лётного образца этой аппаратуры. Огромную роль в создании БАО ТВ-типа нового поколения сыграл главный конструктор П.Ф. Брацлавец.

Достижимые характеристики космической системы второго поколения определялись не только свойствами БАО, но и накопленными знаниями и опытом в части потенциальных возможностей алгоритмов обработки специнформации, тесно связанных с вычислительными ресурсами ЭВМ. Вычислительные средства канала обработки информации при практически глобальном поле зрения БАО должны были иметь существенно (на два порядка) большие быстродействие и объем памяти, чем у создававшихся в тот момент универсальных ЭВМ. Это была вторая проблема создания глобальной космической системы обнаружения стартов МБР нового поколения.

Реализацию задачи обработки специнформации и формирования типовых сообщений, передаваемых на КП СПР, коллектив разработчиков решил осуществлять поэтапно. Сначала на специализированном быстродействующем вычислителе должна была производиться первичная обработка входного потока информации (с быстродействием приблизительно 450 млн алгоритмических операций в секунду). Затем на второй стадии на универсальных многопроцессорных вычислительных комплексах «Эльбрус» должна была выполняться траекторная обработка, и, наконец, на третьей стадии на вычислительном комплексе ВК-3700 формировались и передавались на КП СПРН типовые сообщения. Оригинальную разработку специализированного вычислителя МВР-01 и вычислительного комплекса ВК-3700 выполнил своими силами ЦНИИ «Комета».

По исходному замыслу для непрерывного контроля всех ракетоопасных районов земного шара в космической системе второго поколения были спроектированы орбитальная группировка из КА на геостационарной и КА на высокоэллиптических орбитах и два командных пункта — Западный и Восточный.

Для повышения точностных характеристик космической системы второго по-

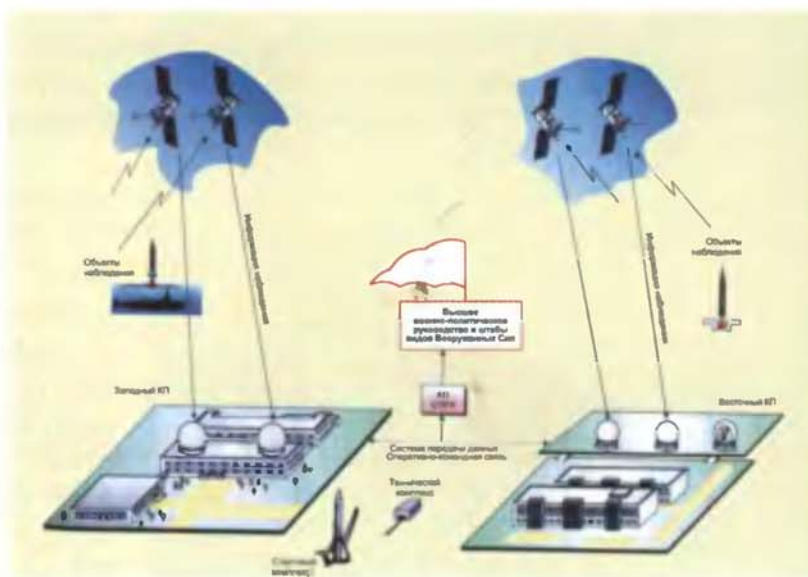


Рис. 39

Космическая система обнаружения стартов межконтинентальных баллистических ракет второго поколения

коления потребовалась серьёзная модернизация бортового комплекса управления космическим аппаратом по сравнению с системой первого поколения.

Разработка и изготовление средств командных пунктов шли достаточно успешно. Как правило, строительные и монтажные работы велись параллельно. В первую очередь вводились в строй вычислительные средства, чтобы широким фронтом можно было выполнять отработку программного обеспечения.

Проектирование алгоритмов и программ осуществлялось по трем основным направлениям: обработка специнформации, обработка телеметрической информации, а также управление КА, средствами системы и системой в целом.

Система второго поколения представляла собой более сложный многофункциональный комплекс бортовых и наземных средств, разнесенных на большие расстояния и увязанных единым алгоритмом управления, чем система первого поколения. В этой связи ввод её в строй предполагалось провести в несколько этапов: сначала Западный КП для работы с КА на геостационарной орбите с целью проведения лётных испытаний и наблюдения за западными районами Земли; затем Восточный КП для работы с КА на геостационарной орбите в интересах наблюдения за восточными районами и, наконец, расширение Западного КП для работы с орбитальной группировкой КА штатного состава.

После выхода постановления ЦК КПСС и СМ СССР от 22 мая 1985 г. строительство Западного и Восточного КП пошло быстрыми темпами. Но уже с 1986 г. работа над созданием системы существенно осложнилась, возникли серьёзные ограничения финансирования, и сроки выполнения работ стали отодвигаться. Тем не менее в 1990 г. были полностью закончены монтаж и настройка аппаратуры объектов, изготовлены первые опытные образцы КА, отработаны штатные программы обработки специальной информации и управления.

После длительной и тщательной подготовки средств системы 14 февраля 1991 г. по намеченной программе без каких-либо серьёзных отклонений был запущен первый КА на геостационарную орбиту с БАО ТП-типа, и начались лётно-конструкторские испытания системы.

Разработчики и члены государственной комиссии пережили незабываемые впечатления от первого включения БАО. Все замерли от удивления, увидев на экране индикатора в цветном изображении освещённую Солнцем Землю с континентами, морями и океанами. Как на привычной географической карте светились восточная часть Африки, Красное море с проливами, Аравийский полуостров, Персидский залив, полуостров Индостан. По сравнению с системой первого поколения это был ощутимый качественный скачок. Бортовая аппаратура КА и все средства КП системы работали надёжно. Далее началась будничная и трудоёмкая работа по доводке средств и системы в целом.

В декабре 1992 г. был запущен второй КА. Запуск, вхождение в связь и испытания его бортовых средств прошли успешно. С помощью этого КА были получены убедительные статистические данные по характеристикам системы, проведено большое количество экспериментов и измерений, а также обнаружений стартов отечественных и зарубежных МБР и РН.

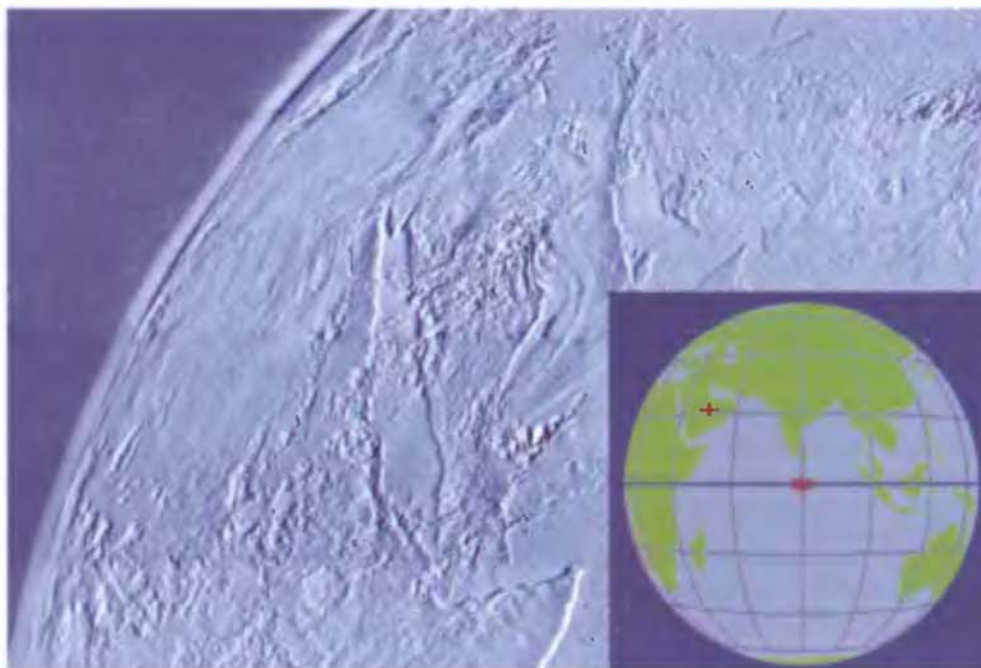


Рис. 40

Изображение от БАО на экране индикатора командного пункта системы второго поколения



Рис. 41

Геостационарный сегмент космического эшелона СПРН после 2005 г.

В июле 1994 г. был запущен еще один КА. Теперь, работая с тремя КА, испытатели заканчивали оценку системных характеристик. Лётно-конструкторские испытания перешли в стадию государственных испытаний, которые показали, что система в целом соответствовала требованиям, заданным ТТЗ. В кратчайшие сроки был выпущен итоговый акт государственных испытаний, и 25 декабря 1996 г. Указом Президента РФ система первого этапа была принята на вооружение.

За создание глобальной системы обнаружения стартов МБР наземного и морского базирования первого этапа большое число специали-

стов промышленности и военнослужащих было отмечено высокими государственными наградами, Государственной премией и премией Правительства Российской Федерации. Среди них: К.А. Власко-Власов, В.Л. Войтик, Г.В. Давыдов, А.В. Люхин, В.П. Мисник, А.И. Савин, В.В. Синельщиков, В.Б. Фролов, А.Л. Алешин, В.Ю. Бобров, В.В. Бодин, А.М. Бычков, В.А. Гапон, В.И. Друшляков, С.Г. Тотмаков, В.М. Харитонов и др.



Рис. 42

Лауреаты Государственной премии
и Премии Правительства Российской Федерации. 1999 г.

Слева направо: Гапон В.А., Тотмаков С.Г., Мисник В.П., Синельщиков В.В., Друшляков В.И., Бобров В.Ю., Савин А.И., Давыдов Г.В., Войтик В.Л., Алешин А.Л., Бодин В.В., Бычков А.М., Фролов В.Б.

В 1998 г. было завершено создание Восточного командного пункта, и система второго этапа в составе Западного и Восточного командных пунктов прошла все виды испытаний. Восточный КП был поставлен на опытное дежурство, а в 2002 г. введён в эксплуатацию в составе системы.

В последние десятилетия произошли существенные изменения геополитической и военно-стратегической обстановки в мире: возрос конфликтный потенциал вблизи границ России, расширилось распространение ракетно-ядерных технологий в странах Ближнего и Среднего Востока, Азиатско-Тихоокеанского региона, появились и продолжают разрабатываться новые виды вооружений и пр. Вследствие этого стали пересматриваться взгляды на концепцию будущих военных конфликтов, в которых всевозрастающую роль начинают играть ракетные системы высокоточного оружия с обычным оснащением. Эти обстоятельства, очевидно, определённым образом меняют требования к космическим системам стратегического назначения, расширяя круг решаемых ими задач.

Следует отметить, что рассмотренные космические системы разрабатывались изначально как «открытые» информационные системы, т. е. способные к дальнейшему совершенствованию без изменения базовых

принципов построения. Это означает, что внедрение новых технологий и прогрессивных конструкторских решений даёт возможность расширить функции систем и повысить их вклад в стратегическое сдерживание.

С учётом современных экономических и военно-политических условий, в которых находится Россия, а также тенденций развития воздушно-космических средств нападения уточнены концепции дальнейшего совершенствования и развития космических систем стратегического назначения. В основу этих концепций положены следующие базовые положения: интеграция функций, унификация средств, эволюционная модернизация и оптимизация кооперации предприятий-разработчиков. В соответствии с этими положениями его совершенствование должно базироваться на принципах максимального использования существующего научно-производственного потенциала и опытно-конструкторского задела, а также применения передовых технологий. В перспективе, в частности для космического эшелона СПРН, предусматривается создание высокоэллиптических и геостационарных КА на основе единой унифицированной космической платформы и модульного принципа конструирования; применение обработки специальной информации на борту КА; создание командных пунктов на базе реконфигурируемых вычислительных сетей; решение дополнительных задач информационного обеспечения различных систем стратегических и нестратегических вооружений и, в итоге, превращение космического эшелона в важнейшую часть системы воздушно-космической обороны страны.

Литература

- Власко-Власов К.А. От «Кометы» до «Око». 2005
Военно-промышленный комплекс. Энциклопедия. Т. 1. – М.: Военный парад, 2005
- Гетман М.В., Раскин А.В. Военный космос: без грифа «секретно».- М.: Фонд «Русские Витязи», 2008.
- Землянов А.Б., Коссов Г.Л., Траубе В.А. Система морской космической разведки и целеуказания (история создания). – СПб, 2002.
- «Комета» - 35 лет. Под общ. ред. В.П.Мисника. – М.: Оружие и технологии, 2008
- Оружие и технологии России. Энциклопедия. XXI век. Противовоздушная и противоракетная оборона. – М.: Издательский дом «Оружие и технологии», 2004
- Космонавтика и ракетостроение. Биографическая энциклопедия. – М.: Столичная энциклопедия, 2006
- Федоров В.М. Военно-морская разведка: история и современность. – М.: Оружие и технологии, 2008
- Макаренко Д.М., Потюпкин А.Ю. На орбитальных рубежах. М.: Academia, 2008



СУХАНОВ С.А.,
генеральный конструктор
ОАО «МАК «Вымпел», доктор технических наук, профессор



ФАТЕЕВ В.Ф.,
Президент ОАО «МАК «Вымпел», доктор технических наук, профессор

ТЕХНОЛОГИИ, СИСТЕМЫ И СРЕДСТВА РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ОБОРОНЫ В РЕШЕНИИ ЗАДАЧ ВОЗДУШНО-КОСМИЧЕСКОЙ ОБОРОНЫ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Опасность и угрозы ракетно-космического нападения на Российскую Федерацию

Совершенствование форм и способов вооружённой борьбы с широким использованием перспективных средств ракетно-космического нападения, способных обеспечить стратегическое превосходство в войне, интенсивное развитие этих средств ведущими иностранными государствами, ускоряющееся освоение околоземного космического пространства в военных целях могут кардинально поменять характер и содержание вооруженного противоборства в ближайшей перспективе.

В последние годы опасность ракетно-космического нападения на Российскую Федерацию непрерывно возрастает. Эта опасность в новых геополитических условиях обусловлена следующими факторами:

- снижением уровня стратегической и региональной стабильности в мире в связи с распадом СССР, образованием однополярного мира и стремлением США и других стран НАТО расширить сферы своего политического влияния и военного присутствия в различных регионах земного шара, в том числе на постсоветском пространстве;
- возникновением новых значимых центров силы в Азиатско-Тихоокеанском регионе, определяемых возрастающей военной мощью Китая, Индии, Японии, Пакистана и стран Корейского полуострова;
- широким распространением в мире ракетных технологий и возможностью нанесения по объектам России провокационных и террористических ракетных ударов с территорий сопредельных

- стран с экстремистскими и неустойчивыми политическими режимами;
- возросшей опасностью развязывания локальных войн и конфликтов с участием России с применением средств ракетно-космического нападения;
 - разработкой и появлением на вооружении потенциальных противников России новых средств воздушно-космического нападения, в том числе крылатых ракет и гиперзвуковых летательных аппаратов, военно-космических систем различного целевого назначения, систем и комплексов противовоздушной, противоракетной и противокосмической обороны (ПВО, ПРО, ПКО).

Согласно военным доктринам России и США, заключениям ведущих зарубежных и отечественных военных аналитиков ракетно-ядерные силы на период, по крайней мере, до 2020 г. будут оставаться основным элементом вооружений, определяющих боевую мощь любого государства.

В свою очередь, одним из главных определяющих факторов в строительстве высокоэффективных Вооруженных сил и гарантом национальной безопасности в настоящее время является потенциал ракетного оружия, сочетаемый с боевыми возможностями существующих и перспективных военно-космических систем. Принципы строительства и применения в локальных конфликтах современных Вооруженных сил США и НАТО с опорой на ракетное оружие и военно-космические системы служат наглядным примером для вооружения всех стран, в том числе и стран, относящихся ранее к странам «третьего мира», которые также стремятся к обладанию ракетным оружием.

При этом в развивающихся странах Ближнего Востока и Азиатско-Тихоокеанского региона обладание таким оружием ставится в основу отстаивания своего суверенитета, политической и экономической независимости. Гарантии неприменения ракетного оружия в возможных вооружённых конфликтах против (либо с участием) этих стран значительно повышаются. Это приводит к возникновению дополнительно к существующим ракетным опасностям для России реальных угроз нанесения ударов нестратегическими ракетными средствами нападения с южного, юго-восточного и восточного направлений по ключевым объектам (в том числе и по объектам Центрального района страны).

Учитывая продвижение НАТО на Восток и расширение его состава за счёт стран Европы и Ближнего Востока, такие угрозы могут использоваться и как средство силового давления на Россию со стороны стран Запада при разрешении тех или иных конфликтных ситуаций.

В свою очередь, наметившееся ускорение темпов освоения космического пространства в военных целях и повышение роли военно-космических систем в решении задач вооружённой борьбы расширяют спектр угроз для России из космоса и в космосе и обуславливают необходимость принятия адекватных военно-технических мер для парирования этих угроз.

Таким образом, расширение спектра угроз ракетно-ядерного нападения, включая угрозы для России из космоса и в космосе, определяют объективную необходимость скорейшего скоординированного развития ракетно-космической обороны (РКО) и её основных систем, составляющих основу для создания перспективной воздушно-космической обороны РФ (ВКО РФ).

**Назначение и роль
системы ракетно-космической обороны
в обеспечении военной безопасности
Российской Федерации**

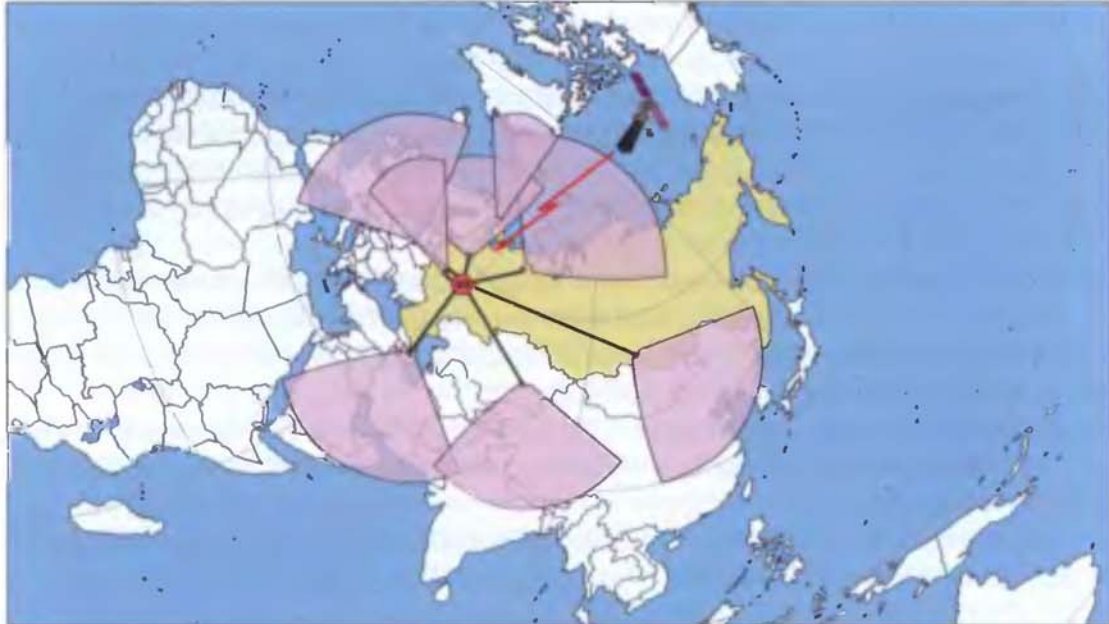


Рис. 1
Зоны контроля СПРН

Основу ракетно-космической обороны составляет сеть информационных средств разведки космического пространства, командно-связных средств, средств поражения ракетно-космических целей, специализированных комплексов оперативного доведения и отображения информации о ракетно-космической обстановке, функционирующих в автоматическом режиме в контуре сетецентрического управления в масштабе реального времени.

Переход к сетецентрическому управлению системами и средствами в перспективной РКО можно обеспечить за счёт создания распределенной сети пунктов управления (КП РКО), создаваемых на объектах оповещения высших звеньев управления ВС РФ и связанных скоростными каналами цифровой связи со всеми КП взаимодействующих систем РКО и всеми информационными средствами.

Основное назначение ракетно-космической обороны состоит в обеспечении безопасности Российской Федерации в условиях существующих и перспективных угроз ракетного нападения, а также возрастающих угроз из космоса и в космосе.

Основная роль ракетно-космической обороны состоит в обеспечении военной безопасности РФ за счёт информационного обеспечения высших звеньев управления страны и ВС РФ для принятия и реализации ими решений по боевому применению ВС РФ, адекватному складывающейся ракетно-космической обстановке, а также в защите ВЗУ, группировок войск, военных и гражданских объектов РФ от ударов БР.

При решении задач воздушно-космической обороны страны средства ракетно-космической обороны тесно взаимодействуют с другими информационными системами МО РФ, со средствами и системами

противовоздушной обороны, силами и средствами радиоэлектронной борьбы, с другими информационными системами и средствами других ведомств и организаций.

Основными направлениями дальнейшего развития ракетно-космической обороны являются:

- создание нормативно-правовой базы развития и боевого применения средств и систем РКО;
- реализация принципов сетецентрического управления в РКО с обеспечением поддержания и скоординированного развития средств и систем ракетно-космической обороны в соответствии с направлениями создания и развития воздушно-космической обороны страны;
- обеспечение адекватности темпов развития, объёмов финансирования и направлений совершенствования ракетно-космической обороны результатам и прогнозам развития иностранных средств ракетно-космического нападения;
- обеспечение системы поддержания необходимых научно-технического, технологического, промышленного и кадрового потенциалов;
- обеспечение постоянной боеготовности средств и систем ракетно-космической обороны.

Ракетно-космическая оборона как базовый структурный элемент ВКО РФ



Рис. 2
КП СПРН

Базовые принципы построения ракетно-космической обороны, отвечающие диалектике развития ВКО, предусматривают:

- создание контура сетецентрического управления и централизованное автоматическое управление на его основе всеми системами и средствами РКО в целях распределения (перераспределения) в реальном масштабе времени (адекватно складывающейся ракетно-

космической обстановке) боевых возможностей всех систем и средств РКО для решения наиболее приоритетных задач;

- повышение живучести системы ПРН и РКО на основе сети командных пунктов РКО и СПРН, размещаемых на оповещаемых объектах (в том числе высокозащищённых) и связанных оперативными каналами цифровой защищённой связи со всеми информационными средствами РКО;
- непрерывное автоматическое взаимодействие средств и систем РКО в контуре сетецентрического управления в масштабе реального времени;
- реализацию и развитие информационного взаимодействия РКО с другими информационными системами МО РФ и гражданских ведомств, включая средства центральной и видовых разведок, а также с АСУ (АСБУ) видов и родов ВС РФ;
- развитие взаимодействия РКО с ПВО-ПРО и согласованное применение средств и систем РКО с силами и средствами видов и родов ВС РФ при решении в структуре ВКО РФ задач обороны от ударов нестратегических ракетных средств нападения;
- широкое использование новых информационных технологий в части командно-связных и измерительных средств;
- использование информационных средств наземного и космического базирования, разнодиапазонных радиолокационных и широкого спектра радиотехнических, оптико-электронных и оптических информационных средств;
- максимальное использование имеющегося научно-технического, организационного и промышленного заделов в области создания

средств и систем высокоэффективной ракетно-космической обороны.

Далее речь пойдет об основных структурных элементах ракетно-космической обороны, интегрируемых в контуре единого управления ВКО РФ.

Командно-связные средства ракетно-космической обороны предназначены для решения задач сетецентрического автоматического управления силами и средствами РКО и включают в себя:

- распределенную сеть командных пунктов РКО, создаваемую на основе КП (ЗКП) СПРН и их аналогов, размещаемых на объектах ВЗУ ВС РФ, с обеспечением одновременного решения задач системы ПРН, а также командно-технического и боевого управления всеми средствами и системами РКО;



Рис. 3
РЛС ВЗГ

- командные пункты информационных средств систем ПРН, ККП, информационных и боевых средств ПРО и средств системы противодействия угрозам из космоса и в космосе;
- системы передачи данных и связи на направлениях взаимодействия командных пунктов систем со средствами и взаимодействия систем РКО между собой и на внешних направлениях взаимодействия в структуре АСУ ВС РФ.

Система предупреждения о ракетном нападении (ПРН) является важнейшим элементом РКО и ВКО РФ и предназначена для обнаружения в автоматическом режиме с высокой достоверностью ракетного нападения на Российскую Федерацию и государства СНГ и выдачи государственному и военному руководству Российской Федерации информации предупреждения о старте баллистических ракет, ракетном нападении, государстве-агрессоре, атакуемых районах, времени до падения ракет и масштабе ракетного удара, факте и степени противодействия системе и ее текущих боевых возможностях с характеристиками, достаточными для принятия соответствующих складывающейся обстановке решений, в том числе на применение Вооруженных сил РФ, включая стратегические ядерные силы.

В контуре сетецентрического управления система ПРН является важнейшим элементом сдерживания агрессоров от нанесения ракетных ударов по территории России и других стран СНГ, повышения эффективности ответных действий стратегических ядерных сил и Вооруженных сил РФ в целом.

Система ПРН — это тесно увязанная совокупность командно-связных и информационных средств космического и наземного базирования, функционирующая в полностью автоматизированном режиме круглосуточного боевого дежурства, важнейший источник информации, определяющий эффективность и боевые возможности всех других систем РКО.

Начало работ по созданию системы ПРН определено постановлением ЦК КПСС и СМ СССР от 15 ноября 1962 г. «О создании системы обнаружения и целеуказания системы ИС, средств предупреждения о ракетном нападении и экспериментального комплекса средств сверхдальнего обнаружения запусков баллистических ракет, ядерных взрывов и самолётов за пределами горизонта».

В этом же году был разработан эскизный проект радиолокационного узла РО-1. Главной организацией по разработке эскизных проектов был определен РТИ АН СССР.

По результатам проведенных в 1964–1966 гг. НИОКР были подготовлены и вышли два постановления правительства, определившие порядок создания радиолокационных узлов РО-1, РО-2, командного пункта создаваемого радиолокацион-



Рис. 4
ЦККП

ного комплекса (1965 г.), и устанавливался порядок и сроки создания системы предупреждения о ракетном нападении на базе РЛС «Днепр» (1967 г.). В 1968 г. был разработан эскизный проект комплексной системы предупреждения о ракетном нападении. Главным разработчиком проекта являлся Радиотехнический институт Академии наук СССР.



Рис. 5
РЛС «Днепр»

В 1968 г. были начаты и завершены государственные испытания узла РО-1, а в январе 1969 г. — испытания узла РО-2.

Принятие РО-1 и РО-2 на вооружение было перенесено до завершения работ по командному пункту комплекса и подключения к нему этих узлов.

Первый комплекс системы предупреждения в составе узлов РО-1, РО-2 с РЛС «Днепр-М» и первой очередью экспериментального КП был поставлен на боевое дежурство в феврале 1971 г.

С 1970 г. главным разработчиком системы предупреждения о ракетном нападении с учётом важности и объёмности решаемых задач было определено вновь созданное Центрально-производственное объединение «Вымпел». В рамках ЦНПО «Вымпел» была создана мощная кооперация предприятий промышленности и развёрнуты работы по созданию двухэшелонной системы и созданию более совершенных РЛС обнаружения БР. Были определены принципы, проведено проектирование и развёрнуты работы по созданию командного пункта системы ПРН 1-го этапа развития.

В 1974 г. в рамках системы был создан головной образец РЛС «Днепр» и проведены его государственные испытания на узле Балхаш. В 1974 г. РЛС «Днепр» была принята на вооружение и поставлена на боевое дежурство.

В период 1974–1977 гг. был проведен этап модернизации всех узлов РО и ОС по оснащению их новой РЛС «Днепр».

Дальнейшее развитие системы ПРН было связано с наращиванием боевых возможностей (совершенствование алгоритмов и программ) и

проведением работ по развитию основного и созданию резервного командного пункта СПРН.

Эскизный проект запасного командного пункта системы ПРН был разработан и предъявлен заказчику в 1975 г. Создание запасного КП повышало живучесть системы ПРН и обеспечивало непрерывность её работы в условиях проведения регламентных работ, подключения новых и доработанных средств системы, модернизации и проведения работ на основном командном пункте.

В этом же проекте была обоснована необходимость создания специального научно-испытательного центра СПРН (НИЦ СПРН), который и был вскоре развёрнут.

Общим итогом проведения работ на данном этапе было завершение создания в 1976 г. первой очереди системы ПРН 1-го этапа развития в составе РО-1, РО-2, ОС-1, ОС-2 и нового КП СПРН, оснащённого вычислительной техникой нового поколения. В этом же году были завершены работы по созданию головного направления комплекса «Крокус», решавшего задачи оповещения высших звеньев управления и ВС страны о ракетном нападении. В конце 1976 г. система ПРН была принята на вооружение и поставлена на боевое дежурство.

Одновременно в 1976 г. была завершена разработка технических предложений по дальнейшему развитию СПРН и развёрнуты работы по созданию средств первого (космического) эшелона системы.



Рис. 6
РЛС «Дунай»

Последующие работы по развитию системы ПРН были связаны с наращиванием её боевых возможностей за счёт совершенствования программно-алгоритмического обеспечения командных пунктов и ввода в состав системы новых информационных средств.

В 1977 г. были закончены испытания приёмной РЛС «Даугава» и узла РО-1 в целом, на вооружение был принят активно-пассивный комплекс в составе РЛС «Днепр» и приёмной РЛС «Даугава».

В 1978 г. была завершена подготовка к испытаниям и проведены государственные испытания системы ПРН второго этапа развития.

В 1983 г. были проведены государственные испытания и осуществлен ввод в состав системы (1984 г.) головного образца высокопотенциальной РЛС нового поколения — РЛС «Дарьял» в районе г. Печора.

В октябре 1984 г. были завершены испытания радиолокационного узла с РЛС «Дарьял» в районе г. Мингечаур на южных рубежах нашей страны.

Создание радиолокационной станции «Дарьял» явилось новым этапом развития системы ПРН и, с учётом её характеристик, позволило надёжно закрыть ракетоопасные направления на севере и юге страны.

Одновременно с вводом в состав СПРН РЛС «Дарьял» были завершены комплексные контрольные испытания системы ПРН третьего этапа развития.

Успешное проведение этих испытаний обеспечивалось развитой испытательно-моделирующей базой, созданной совместными усилиями 45-го ЦНИИ МО и НТЦ ЦНПО «Вымпел».

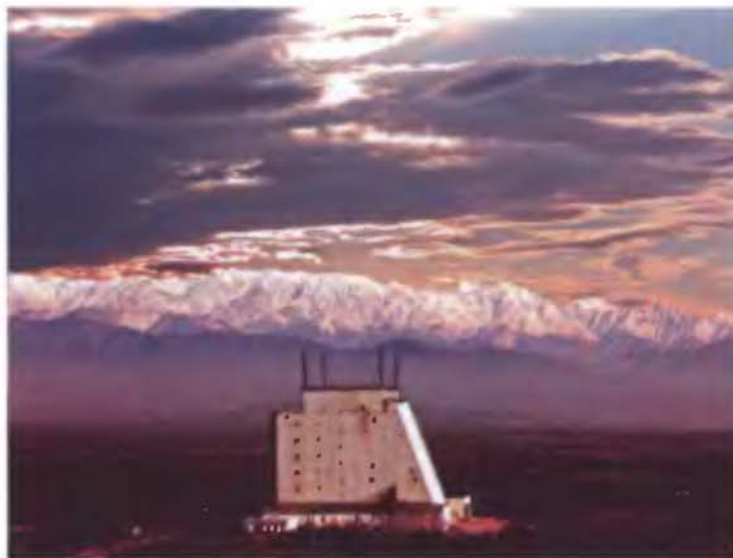


Рис. 7
РЛС «Дарьял»

Важную роль в активизации опытно-конструкторских, экспериментальных и строительных работ по тематике СПРН должно было сыграть постановление Правительства № 465-150 от 14 мая 1985 г. В соответствии с этим постановлением предусматривалось переоснастить радиолокационные узлы на новые средства. На узлах Енисейск, Балхаш, Иркутск планировалось создать РЛС «Дарьял-У», на узлах Скрудна и Мукачево — РЛС «Дарьял-УМ».

Кроме того, была обоснована необходимость совершенствования периферийного информационного радиолокационного поля за счёт введения в состав СПРН серии РЛС дециметрового диапазона длины волн «Волга». Главным объектом для развёртывания РЛС «Волга» был выбран радиолокационный узел г. Барановичи. Это был своеобразный ответ на планы НАТО по развёртыванию ракет типа «Першинг-2» в Западной Европе.

К сожалению, в силу изменения внутренних и внешних факторов, значительного сокращения оборонного бюджета большинство работ, предусмотренных вышеуказанным постановлением, не были выполнены.



Рис. 8
РЛС «Волга»

Одновременно с работами по средствам и комплексам наземного эшелона системы предупреждения велись работы по созданию космической системы (КС) обнаружения стартов БР.

Работы по тематике обнаружения стартов баллистических ракет из космоса развёртывались в соответствии с постановлениями Правительства от 30 декабря 1961 г. и 30 июня 1965 г.

Ведущими НИИ МО (2 НИИ МО, 45 НИИ МО) при взаимодействии с промышленностью был разработан проект тактико-технических требований на космическую систему обнаружения стартов БР, который был утвержден министром обороны в 1969 г.

В 1971 г. вышло постановление ЦК КПСС и СМ СССР № 70-24 от 4 февраля 1971 г. об ускорении работ по созданию системы УС-К и приняты соответствующие решения ВПК № 58 от 19 марта 1971 г. и № 144 от 9 июня 1971 г.

Начало создания космического эшелона СПРН ознаменовалось запуском в октябре 1976 г. первого штатного космического аппарата (КА) «Космос-862».

В 1979 г. система УС-К с теплопеленгационной аппаратурой обнаружения была поставлена на опытное боевое дежурство с рекомендацией доведения характеристик обнаружения до требуемого уровня.

С учётом результатов проведённых работ были подготовлены, а в 1979–1980 гг. утверждены министром обороны СССР тактико-технические задания на перспективные космические системы обнаружения стартов баллистических ракет.

Начиная с 1980 г. были проведены работы по созданию и вводу в систему ПРН усовершенствованной космической системы.

Работы по созданию новой космической системы обнаружения стартов баллистических ракет УС-КМО успешно завершились в декабре 1996 г. с принятием системы УС-КМО первого этапа на вооружение.

В конце 1990-х гг. начались работы по подготовке и проведению испытаний Восточного командного пункта системы УС-КМО. В апреле 1998 г. были проведены государственные испытания системы УС-КМО второго этапа с Восточным командным пунктом. В 2001 г. Восточный командный пункт системы УС-КМО был сдан в эксплуатацию.

В декабре 1998 г. было завершено юридическое оформление большого этапа работ по обеспечению функционирования средств систем ПРН и ККП, дислоцирующихся за пределами России, в соответствии с ранее подписанным соглашением.

Направления работ на рубеже XXI века определялись с учётом новой геополитической обстановки.

Возобновились работы на РЛС «Волга», и в 2000 г. были проведены предварительные испытания РЛС. В декабре 2001 г. первая очередь РЛС «Волга» была поставлена на боевое дежурство.

В декабре 2002 г. на опытное боевое дежурство поставлены Восточный командный пункт системы УС-КМО и РЛС «Волга».

В конце 1980-х — начале 1990-х гг. была обоснована необходимость создания нового поколения радиолокационных средств — РЛС высокой заводской готовности (ВЗГ). Главными целями создания РЛС ВЗГ является максимальное сокращение объёма монтажно-настроечных и строительных работ, времени развёртывания и испытаний РЛС в местах постоянной дислокации и снижения эксплуатационных расходов.

Важнейшими направлениями развития системы ПРН явились работы по модернизации командно-связных средств системы, проводимые непосредственно силами НИЦ СП ОАО «МАК «Вымпел». В период до 2008 г. были модернизированы на основе передовых информационных технологий и прошли полный цикл конструкторских и государственных испытаний командные пункты системы ПРН с новой боевой программой, реализованной на современной вычислительной технике. Одновременно были разработаны и созданы новейшие аппаратурно-программные комплексы системы передачи данных и связи. Был модернизирован и прошёл полный цикл испытаний новый аппаратурно-программный комплекс оповещения «Крокус».

В системе нового мирового устройства роль системы предупреждения о ракетном нападении в решении задач сдерживания от развязывания ракетно-ядерной войны и обеспечения мировой и региональной стабильности существенно повышается. В этих условиях и с учётом новых угроз система ПРН должна постоянно соответствовать уровню развития ракетного потенциала вероятных противников с одновременным решением задач гарантированного обнаружения и классификации террористических и провокационных ракетных ударов. Исходя из этого положения, в 2009–2010 гг. был разработан и защищён технический проект СПРН, определяющий направления работ по развитию системы.

Роль системы ПРН в условиях развития и совершенствования средств ракетного нападения эвентуальных противников России и распространения ракетных технологий в мире в обобщённом виде можно сформулировать следующим образом:

- создание необходимых условий для сохранения стратегической стабильности при глубоких взаимных сокращениях стратегических наступательных вооружений РФ и США;
- информационное обеспечение решения задачи сдерживания агрессоров от нанесения ракетных ударов по территории России и её союзников;
- повышение эффективности ответных действий Вооружённых сил России в условиях ударов средств ракетно-космического нападения;

- информационное обеспечение решения задач контроля космического пространства, перспективных и существующих средств и систем ПРО ПВО-ПРО и в перспективе ВКО РФ;
- обеспечение постоянного контроля за испытаниями ракетного оружия иностранными государствами и его распространением в мире.

Система контроля космического пространства предназначена для разведки военно-космических систем вероятных противников, обнаружения ударов в космосе и из космоса, формирования и доведения информации о космической обстановке до военно-политического руководства страны, информационного обеспечения операций противокосмической обороны и безопасности космической деятельности РФ.

Система ККП относится к национальным средствам контроля за вооружениями. Создание помех системе ККП и попытки нарушения её функционирования иностранными государствами являются одной из основных внешних угроз военной безопасности Российской Федерации.

Система контроля космического пространства является неотъемлемой составной частью ракетно-космической обороны, находящейся в постоянном взаимодействии с системами ПРН, ПРО и ПКО (ПСБ) и обеспечивающей в контуре единого управления в пределах существующих боевых возможностей решение приоритетных задач РКО и перспективной ВКО РФ.

Основу информационных средств системы ККП составляют информационные средства систем ПРН и ПРО, развивающиеся с учётом требований системы ККП.

К решению задач СККП привлекаются информационные средства, способные получать информацию о космических объектах, принадлежащих Минобороны России, а также гражданским ведомствам (наземная часть оптических станций и оптико-электронных средств АН, вузов Российской Федерации и организаций СНГ), работающим по контрактам с Минобороны России.

В состав информационных средств ККП могут входить средства, расположенные в соответствии с двухсторонними договорами и соглашениями на территории других государств.

Функционально на уровне информационного взаимодействия система ККП объединяет возможности всех средств Министерства обороны и гражданских ведомств РФ, способных наблюдать космические объекты.

Начало созданию отечественной СККП положили постановления правительства от 15 ноября 1962 г. «О создании отечественной службы контроля космического пространства» и от 30 июля 1965 г. «О проведении работ по созданию I и II очереди ЦККП». В соответствии с этими постановлениями сначала в 45 СНИИ МО была образована служба контроля космического пространства, а в январе 1970 г. при головной роли 45 СНИИ МО было завершено создание и началось боевое дежурство ЦККП I очереди в Подмосковье (район г. Ногинска). Основными источниками измерительной информации для ЦККП о КО (только на низких орбитах) являлись оптические станции Астросовета Академии наук, средства пунктов оптического наблюдения (ПОН) ВПВО страны и восемь РЛС «Днепр» на узлах ОС-1 и ОС-2 в районе г.г. Иркутск и Балхаш.

Постановлением от 21 ноября 1974 г. был принят на вооружение ЦККП II очереди и заданы работы по созданию первых специализированных средств ККП: радиооптического комплекса «Крона» на Северном Кавказе и оптико-электронного комплекса «Окно» в Таджикистане. Этим постановлением головной организацией по дальнейшему совершенствованию ЦККП и СККП в целом было определено ЦНПО «Вымпел».

Существенное расширение работ по развитию СККП было предусмотрено постановлением от 24 апреля 1980 г. «О работах по совершенствованию и развитию СККП», которым были заданы два этапа развития ЦККП (на базе МВК «Эльбрус-1» и «Эльбрус-2»), создание на Дальнем Востоке в дополнение к комплексам «Крона» и «Окно» радио-локационных комплексов «Крона-Н», «Крона-В» и оптико-электронного комплекса «Окно-С». Существенно наращивался состав источников измерительной информации о КО для ЦККП за счёт сопряжения его с командными пунктами систем ПРН и ПРО и с полигонными РЛС ГНИИП-10 МО и 20 ОНИЦ МО. На этом этапе основными информационными средствами для решения задач ККП по низкоорбитальным КО стали РЛС «Днепр» на узлах ОС и РО системы ПРН, РЛС «Дунай-3М», «Дунай-3У», «Тобол» и «Енисей» системы ПРО. Для получения высокоточной радиолокационной информации об особо важных низкоорбитальных КО стали привлекаться РЛС «Аргунь», «Алдан» и «Азов» ГНИИП-10 МО и РЛС «Азов» 20 ОНИЦ МО. Для обеспечения ЦККП на регулярной основе оптической информацией по высокоорбитальным КО постановлением от 1984 г. была образована наземная сеть оптических средств (НСОС) Академии наук и вузов.



Рис. 9 и Рис. 10
РОКР «Крона»

Реализация постановления 1980 г. затянулась, а по части средств (комплексам «Крона-В» и «Окно-С») была прекращена из-за изменения экономической ситуации в стране. Тем не менее, в 1990 г. были проведены государственные испытания созданного на базе ЦККП ККП I этапа развития с МВК «Эльбрус-1», а в 1995 г. — ККП II этапа раз-

вития с МВК «Эльбрус-2». В 1990 г. был разработан комплексный эскизный проект развития СККП до 2005 г., который предусматривал интеграцию всех сил и средств, имевшихся в стране в области контроля ККП. В рамках реализации этого проекта в 1991–2005 гг. было завершено создание и осуществлён ввод в эксплуатацию первых специализированных средств СККП: комплекса «Крона» I этапа создания (РЛС и КВП, на опытном боевом дежурстве с 1994 г., на боевом дежурстве с 2000 г.), комплекса «Окно» I этапа создания (2 ОЭС и КВП, на опытном боевом дежурстве с 2000 г.) и II этапа создания (6 ОЭС и КВП, на опытном боевом дежурстве с 2002 г., на боевом дежурстве с 2004 г.), радиотехнического комплекса «Момент» I очереди создания в Подмоскowie (на опытном боевом дежурстве с 2003 г.), лазерного оптического локатора I очереди создания (приёмный канал) комплекса «Крона» (на опытном боевом дежурстве с 2005 г.).



Рис. 11
«РЛК»Крона-Н»

Следующий этап развития СККП определён выполненным в 2006 г. Комплексным эскизным проектом развития СККП до 2015 г. В соответствии с этим проектом осуществляется поэтапное совершенствование КП СККП и развитие взаимодействия КП СККП с источниками и потребителями информации, модернизация СПДС СККП, модернизация существующих и создание новых специализированных средств ККП:

- в 2007 г. проведены государственные испытания КП СККП IV этапа развития на базе современных вычислительных средств (на опытном боевом дежурстве с 2008 г.) и государственные испытания системы оповещения о пролётах иностранных разведывательных КА;
- в 2008 г. проведены государственные испытания системы ККП I этапа создания (с оценкой достигнутых характеристик решения задач ККП);
- в 2010 г. проводятся государственные испытания модернизированного лазерного оптического локатора (полного состава) комплекса «Крона»;
- в 2011 г. должна быть завершена модернизация РЛС и КВП комплекса «Крона», проведены государственные испытания модернизированного радиооптического комплекса «Крона» полного состава, завершены модернизация и доведение до полного состава оптико-электронного комплекса «Окно»;
- в 2012 г. должно быть завершено создание и осуществлён ввод в состав СККП радиолокационного комплекса «Крона-Н» и первого радиотехнического комплекса ККП «Следопыт» в Подмоскowie (на замену РТК «Момент»); должен быть завершён первый этап мо-



Рис. 12
ОЭК «Окно»

дернизации СПДС СККП и проведены государственные испытания модернизированного КП СККП и системы ККП II этапа создания;

- в 2013–2015 гг. должно быть завершено создание и осуществлён ввод в состав СККП трёх специализированных оптико-электронных комплексов «Прицел» (на Дальнем Востоке, Алтае и Северном Кавказе), трёх радиотехнических комплексов ККП «Следопыт» (на Дальнем Востоке, в Калининградской области и на юге Сибири), головного образца РЛС обнаружения малоразмерных КО «Развязка» (в Подмосковье); должен быть завершён второй этап модернизации и развития СПДС СККП, проведены государственные испытания КП СККП очередного этапа развития и системы ККП III этапа создания. Должны быть развёрнуты работы по созданию специализированных средств ККП космического базирования.

Возрастающая роль системы ККП в обеспечении безопасности России в настоящее время определяется:

- ускоренным освоением околоземного космического пространства в военных целях и его превращением в потенциальный театр военных действий;
- созданием и наращиванием различными государствами военно-космических систем, обеспечивающих высокую эффективность применения вооружений в любых конфликтах — от локальных до глобальных с применением как обычного, так и ядерного оружия;
- разработкой рядом государств противокосмических средств, представляющих угрозу для отечественных космических систем;
- необходимость обеспечения безопасности пусков и полётов отечественных КА в условиях нарастания их числа и засорения околоземного космического пространства фрагментами ракетоносителей и прекративших свое существование КА;
- повышением уровня требований к информационному обеспечению системой ККП системы ПРН и необходимостью решения задач противокосмической обороны.

Система противоракетной обороны (ПРО) включает в себя стратегический и нестратегический компоненты и предназначена для парирования угроз применения ракетного оружия по объектам России и обеспечения защиты объектов государственного и военного управления, группировок войск, административно-промышленных центров (районов), объектов экономики, экологически опасных объектов и гражданского населения от ударов ракетных средств нападения.

Решение задач сдерживания от применения против России ракетного оружия, связанных с обеспечением защиты объектов и группировок войск на территории России от ракетных ударов, занимает важное место в общей системе задач вооружённой борьбы и приводит к возрастанию роли как стратегического, так и нестратегического компонента ПРО.

Роль стратегического компонента ПРО в стратегическом сдерживании заключается в повышении боевой устойчивости важнейших объектов управления ВС РФ за счёт отражения ограниченных «обезглавливающих» ударов МБР и БРПЛ, а также в повышении порога ядерного реагирования при случайных, несанкционированных, террористических пусках по г. Москве и объектам Центрального промышленного района.

Роль нестратегического компонента ПРО определяется её вкладом в решение задач сдерживания потенциальных противников от нанесения ракетных ударов в локальных и региональных войнах и конфликтах.

В пределах существующих боевых возможностей в контуре сетцентрического управления система ПРО осуществляет информационное обеспечение систем ПРН, ККП, ПКО и решение задач по поражению низкоорбитальных космических аппаратов иностранных военно-космических систем.

Система и средства противодействия угрозам из космоса и в космосе являются составной частью РКО и важнейшим элементом перспективной ВКО РФ.

В условиях нарастания значения зарубежных военно-космических систем различного целевого назначения, успешных зарубежных космических экспериментов в области ПКО, Россия, оставаясь верной принципам международных соглашений по мирному использованию космоса, не должна отвергать свое право на решение двух главных задач по:

- изысканию возможности противодействия военным космическим системам вероятных противников с целью снижения эффективности их применения против Вооруженных сил РФ;
- защите отечественных КА от возможных воздействий со стороны вероятных противников с целью снижения эффективности Вооруженных сил и подрыва экономического потенциала РФ.

Эти меры призваны реализовать потенциал сдерживания вероятных противников от применения против РФ средств космического базирования и противоспутниковых средств.

Таким образом, повышение эффективности боевого применения средств и систем РКО должно достигаться за счёт максимального, оптимального использования боевых возможностей каждого средства в каждый текущий момент времени в едином контуре сетцентрического управления.

С учётом этих требований РКО должна развиваться как единая сетцентрическая система на основе совершенствования аппаратурных и программно-алгоритмических комплексов командных пунктов средств и систем РКО и развития их информационного взаимодействия в реальном масштабе времени в едином контуре сетцентрического управления.

Направления использования систем и средств РКО для решения задач двойного применения

Наличие в составе РКО уникальных информационных и измерительных средств наземного и космического базирования, развитой системы передачи данных и связи, мощных вычислительных центров и соответствующей инфраструктуры, накопленной за более чем 30-летний период разработки и эксплуатации средств и систем, значительный научный, технический и технологический потенциал, а также наличие высококвалифицированных специалистов по эксплуатации сложной аппаратуры, позволяют использовать названные средства и технологии производства в интересах:

- решения задач фундаментальной и прикладной науки (астрономии, радиофизики, геофизических исследований);
- решения социально-экономических задач (коммерческая связь, системы экологического мониторинга, в том числе системы обнаружения очагов лесных пожаров, пожаров нефтехранилищ, нефте- и газопроводов и т. д.), включая создание дополнительных рабочих мест для местного гражданского населения, привлекаемого к эксплуатации объектов РКО.

Принимая во внимание, что двойное использование систем и средств РКО выгодно для России, разработку новых средств целесообразно вести с учётом этих факторов. При этом должны быть предусмотрены дополнительные требования по двойному применению в технических заданиях на средства, комплексы и системы, создаваемые для РКО.

Головной разработчик системы РКО и основные направления его деятельности

Открытое акционерное общество «Межгосударственная акционерная корпорация «Вымпел» в настоящее время является головной системообразующей корпорацией российской оборонной промышленности в области ракетно-космической обороны (РКО).

История предприятия началась с образования постановлением Совета Министров СССР от 8 июля 1947 г. № 3140-10-28 Специального бюро №1 (с 1950 г. — КБ-1).

В 1955 г. в составе КБ-1 был организован отдел по проблемам противоракетной обороны под руководством Г.В. Кисунько., из которого приказом министра оборонной промышленности от 7 июля 1955 г. было образовано Специальное конструкторское бюро № 30 (СКБ-30), впоследствии ОКБ «Вымпел».

В 1970 г. ОКБ «Вымпел» вошло в состав Центрального научно-производственного объединения «Вымпел» (ЦНПО «Вымпел»), образо-

ванного приказом министра радиопромышленности СССР от 15 января 1970 г. № 25 для создания ракетно-космической обороны (РКО) страны, включая противоракетную оборону (ПРО), систему предупреждения о ракетном нападении (СПРН) и систему контроля космического пространства (СККП). ОАО «МАК «Вымпел» является правопреемником Центрального научно-производственного объединения «Вымпел».

Предприятие объединило лучшие научные, проектно-конструкторские и производственные коллективы страны.

Научно-исследовательские и проектно-конструкторские работы по созданию систем и средств ПРО, СПРН, СККП, ПКО и РКО в целом осуществлялись по специальным программам. Взаимодействие промышленных, конструкторских и научных организаций, задействованных в этих программах, научно-техническое сопровождение работ по тематике РКО и контроль за их выполнением до 1992 г. осуществлялись Комиссией Президиума Совета Министров СССР по военно-промышленным вопросам (ВПК) через Министерство радиопромышленности (МРП) и ЦНПО «Вымпел».

За период 1970–1992 гг. при организационном и научно-техническом руководстве ЦНПО «Вымпел» были созданы:

- СПРН в составе наземного и космического эшелонов;
- СККП в составе ЦККП и специализированных средств;
- системы противоракетной обороны г. Москвы А-35 (А-35М).

За эти годы были разработаны, изготовлены, испытаны и приняты на вооружение многие образцы информационных и стрельбовых средств РКО.

Система ПРО А-35 (А-35М) в штатном составе информационных и стрельбовых средств:

Система ПРН в двухэшелонном составе, включающая в себя:

- командный пункт и запасной командный пункт (КП и ЗКП) СПРН;
- РЛС «Днестр», «Днестр-М», «Днепр», приёмную позицию радиолокационного комплекса «Даугава»;
- РЛС «Дарьял», РЛС «Дарьял-У»;
- космические системы обнаружения стартов баллистических ракет УС-К, УС-КМО, созданные в ЦНИИ «Комета» при концептуальном проектировании, координации работ и тематическом управлении ЦНПО «Вымпел».

Система ККП в составе:

- модернизированного Центра контроля космического пространства (ЦККП), взаимодействующего с КП (ЗКП) СПРН и использующего информацию от измерительных средств СПРН и от привлекаемых оптических средств.

С 1992 г. по настоящее время корпорация «Вымпел» совместно с кооперацией, НИЦ МО, гензаказчиком, нередко в исключительно неблагоприятных экономических и социальных условиях (особенно в 1993–1998 гг.), сумела сохранить на требуемом уровне боеспособность систем и средств РКО и провести исследования и проектные работы, обеспечивающие модернизацию боедежурящих средств и дальнейшее развитие систем РКО.

Были проведены работы, имевшие большую государственную значимость и получившие широкий общественный резонанс.

Основными из них являются:

- ✓ в части общесистемных работ РКО:
 - разработка новой концепции РКО;
 - создание КП РКО I-го и II-го этапов развития;
- ✓ в части СПРН:
 - разработка новой концепции СПРН;
 - модернизация аппаратурных комплексов и совершенствование программно-алгоритмического обеспечения командно-связных средств системы с использованием передовых информационных технологий;
 - создание РЛС «Волга» на узле Барановичи;
 - разработка и создание перспективных РЛС высокой заводской готовности (ВЗГ) метрового и дециметрового диапазонов;
 - создание испытательно-моделирующей базы нового поколения, обеспечивающей высокое качество и эффективность испытания средств и системы ПРН в целом в новых условиях; проведения исследований и обеспечения испытаний в области ПРН;
 - поддержание технического ресурса и модернизация РЛС «Днепр», «Дарьял», комплекса «Крокус» и системы передачи данных (СПД);
 - расширение возможностей и наращивание характеристик системы ПРН при вводе в её состав новой космической системы УС-КМО.
- ✓ В части СККП:
 - модернизации командного пункта СККП на базе микропроцессорной вычислительной техники;
 - ввод в эксплуатацию и сопряжение с ЦККП радиооптического комплекса распознавания (РОКР) «Крона»;
 - создание в составе комплекса «Крона» пассивного канала лазерного локатора;
 - ввод в эксплуатацию и сопряжение с ЦККП оптико-электронного комплекса обнаружения и сопровождения «Окно»;
 - постановка на опытно-боевое дежурство и ввод в состав СККП перебазируемого комплекса контроля радиоизлучающих КА – ПК РТК «Момент»;
 - модернизация действующей системы оповещения Российской Федерации о разведке из космоса. Создание первых направлений модернизированной системы;
 - создание средств математического моделирования для проведения исследований и обеспечения испытаний в области ККП;
 - создание оптической сети по наблюдению КА и малоразмерных фрагментов космического мусора;
 - проведение работ по созданию сети радиоинтерферометров со сверхдлинной базой (РСДБ) для локации КО.
- ✓ В части ПРО:
 - постановка на боевое дежурство системы ПРО А-135;
 - испытания, ввод в эксплуатацию в составе системы и принятие на вооружение многофункциональной РЛС ПРО «Дон-2Н»;
 - разработка проектов перспективной ПРО РФ и системы ПРО от ударов нестратегических ракетных средств нападения;
 - создание моделирующего комплекса стратегической и нестратегической ПРО;
 - создание аппаратурно-программного комплекса для решения задач по БР в средствах управления ПВО;

– проведение исследований по созданию базово-разнесённых радиолокационных систем нового типа.

С целью освоения наиболее перспективных научно-технических направлений ОАО МАК «Вымпел» выступило учредителем ряда проектно-ориентированных дочерних предприятий: АО «Вымпелком» (торговая марка «Билайн»); НТЦ «Модуль» (разработка программного обеспечения и микроэлектроника), НТФ «Сокол» (аэродромное оборудование) и др.

Одновременно корпорацией проводились и проводятся на постоянной основе работы по сопровождению эксплуатации систем РКО.

Являясь системной организацией и сохраняя преемственность задач ЦНПО «Вымпел», во вновь созданной кооперации ОАО «МАК «Вымпел» осуществляет координацию проводимых работ, разработку эскизных и технических проектов с определением и обоснованием наиболее рациональных направлений развития систем РКО в их взаимодействии, осуществляет разработку новых перспективных технологий и командно-связных средств РКО, а также организацию и проведение КИ, МВИ и ПСИ, в полной мере отвечающих перспективным задачам ВКО РФ.

Литература

- Динамика развития отечественной радиоэлектроники и её влияние на эффективность и возможности систем РКО. Монография. «Динамика радиоэлектроники», - М.: 2009.*
- Проблема предупреждения столкновений в космосе (доклад). 3-я конференция по информированности о ситуации в космическом пространстве, Вашингтон, 23-24 марта, 2009.*
- Сравнение различных алгоритмов определения орбит НОКО на одном проходе зоны радара методом математического моделирования(доклад). 8-й американо-российский семинар по контролю космического пространства(7-я встреча), Мауи, Гавайи, 2009.*
- Программный комплекс распознавания объектов («Solution»). Свидетельство об официальной регистрации программы ЭВМ, № 2007614697 от 13 ноября 2007.*
- Роль ОАО «МАК «Вымпел» в создании и развитии СККП. Монография. «На страже космических рубежей». – СПб, 2008.*
- Космос в вопросах вооруженной борьбы. «Национальная оборона», № 7, 2008.*
- Корпорация «Вымпел». Системы ракетно-космической обороны. – М.: Изд. дом «Оружие и технологии». 2005.*
- Концепция развития РКО России. «Воздушно-космическая оборона», № 2, 2007.*
- Концепция развития ракетно-космической обороны Российской Федерации. – М.: «Воздушно-космическая оборона». Спецвыпуск к 100-летию академика, 2008.*
- Динамика развития отечественной радиоэлектроники и её влияние на эффективность и возможности систем РКО. Монография. – М.: «Динамика радиоэлектроники», 2009.*

Techniques for prediction of collisions in space (доклад). 8-й американо-российский семинар по контролю космического пространства (7-я встреча), Мауи, Гавайи, 2009.

Новые угрозы ракетно-космического нападения и необходимые меры Российской Федерации по их парированию. Монография. – М.: Издательство фонда «Российский общественно-политический центр». 2009.

Current status of GEO population knowledge. 8-й американо-российский семинар по контролю космического пространства (7-я встреча), Мауи, Гавайи, 2009.

Новые угрозы ракетно-космического нападения и необходимые меры Российской Федерации по их парированию. Монография. – М.: Издательство фонда «Российский общественно-политический центр», Москва. 2009.

ВКО: система или задача. «Воздушно-космическая оборона», № 2, 2010.

Системы и средства ракетно-космической обороны в решении задач ВКО РФ. – М.: Издательство ВПК РФ. 2010.

ГЛАВА ТРЕТЬЯ

ТЕХНОЛОГИИ ИСПЫТАНИЙ СИСТЕМ И СРЕДСТВ ВОЗДУШНО-КОСМИЧЕСКОЙ ОБОРОНЫ





КОЗЛОВ Н.Н.,
главный научный сотрудник Центра (г. Москва) 4 ЦНИИ МО РФ
доктор технических наук, профессор



КРАСНЫЙ В.П.,
ведущий научный сотрудник Центра (г. Москва) 4 ЦНИИ МО РФ
доктор технических наук

ОСОБЕННОСТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ СИСТЕМ ВОЗДУШНО-КОСМИЧЕСКОЙ ОБОРОНЫ

Создание перспективных образцов вооружения и военной техники не может быть осуществлено без тщательных и всесторонних испытаний, которые являются основным источником достоверной информации о ходе разработки и степени готовности вооружения и военной техники (ВВТ) к эксплуатации в войсках. Испытания обеспечивают принятие не только технических, но и управленческих решений.

По мере повышения требований к характеристикам разрабатываемых образцов и связанного с этим их технического усложнения роль испытаний в процессе создания вооружения становится всё более значительной. В связи с этим наличие в Министерстве обороны Российской Федерации эффективной системы испытаний является необходимым условием создания и поддержания высокой боеготовности ВКО.

Важным направлением работ является обеспечение испытаний измерениями, мишенной обстановкой и автоматизация обработки информации, полученной в ходе испытаний.

Исследования по развитию испытательной базы Министерства обороны тесно связаны с работами, проводившимися в интересах создания системы противоракетной обороны. Созданный на озере Балхаш полигон для испытаний опытных образцов этой системы был оснащён высокоинформативными измерительными комплексами для проведения натурных экспериментов и обработки их результатов с целью проверки и отработки принятых технических решений, анализа технических характеристик создаваемых средств и системы ПРО в целом.

Формирование данной тематики происходило в начале 1960-х гг. в 45 СНИИ МО. В тематике научных исследований можно выделить два основных этапа. На первом этапе (с 1960 по 1965 гг.) основные усилия

были направлены на моделирование и испытание технических средств автоматизированных систем управления.

Второй этап обозначился изданием директивы Главного штаба Войск ПВО от 30 января 1965 г., в соответствии с которой было признано целесообразным разделить тематику управления: вопросы автоматизации управления и обработки информации передать во 2 НИИ МО, а за 45 СНИИ МО сохранить исследования, связанные с обеспечением измерениями испытаний средств вооружения Войск ПВО на полигонах и в войсках.

К началу работы управления по измерительной тематике в Войсках ПВО различными научно-исследовательскими учреждениями был накоплен определённый опыт обеспечения измерениями испытаний на полигонах разрабатываемого вооружения. Вместе с тем, при развёртывании работ по тематике ракетно-космической обороны требовалось обобщить накопленный опыт в целях выработки правильной технической политики и научно-обоснованных путей развития измерительных комплексов и их средств, разработать принципы применения специальных ИСЗ для испытаний радиотехнических средств ПРО и ПРН.

Возникла необходимость обоснования требований к перспективным измерительным комплексам и их средствам, а также разработки и реализации проектов измерительных комплексов для обеспечения испытаний конкретных систем вооружения. В практическом плане требовалось обеспечить научно-методическое руководство испытаниями и ввод в эксплуатацию измерительных комплексов на полигонах и в войсках, а также научно-техническое сопровождение НИР и ОКР по созданию новых измерительных средств.

Решение указанных проблем велось по следующим научным направлениям:

- обоснование путей развития измерительных комплексов, включая разработку требований к ним и проектов измерительных комплексов, а также научно-методическое руководство обеспечением измерениями испытаний разрабатываемого вооружения;
- обоснование перспектив развития средств измерительных комплексов, включая разработку проектов технических заданий на НИР и ОКР, а также их научно-техническое сопровождение;
- координация усилий НИУ МО и предприятий промышленности, обоснование обобщенных по МО предложений по модернизации существующих и созданию новых средств полигонных измерительных комплексов для обеспечения испытаний разрабатываемого вооружения.

В 1966 г. было оформлено Управление измерительных комплексов войск и полигонов ПВО. Управление осуществляло научно-методическое и информационное обеспечение полигонных испытаний практически всех типов зенитных и ракетных комплексов и систем Войск ПВО. В это же время управлением обеспечивалось проведение испытаний вооружения других видов Вооруженных сил.

В 1966 г. возникла дополнительная задача по организации использования средств Войск ПВО в обеспечении запусков особо важных космических аппаратов. Первоначально эти работы проводились нештатными расчётами из состава сотрудников 45-го СНИИ МО, а затем приказом

командира войсковой части 77969 от 30 октября 1967 г. был создан нештатный Координационный научно-испытательный центр (КНИЦ).

В 1978 г. КНИЦ был преобразован в отдел методов использования специальных ИСЗ при испытаниях систем вооружения и включён в состав управления.

Проведенные с 1966 г. научно-исследовательские работы позволили обосновывать перспективы развития измерительных комплексов с учётом развития систем вооружения и связанных с ним особенностей их испытаний на полигонах и в местах их постоянной дислокации.

В 1969 г. во исполнение постановления правительства приказом министра обороны 45 СНИИ МО был определен головным в МО по вопросам внешнетраекторных и телеметрических измерений и ведущей организацией по разработке вопросов полигонных измерений при испытаниях вооружения Войск ПВО.

С 1970 г. в 45 СНИИ МО начал функционировать Координационный научно-технический совет по полигонным измерительным комплексам и системам траекторных измерений. Координационный научно-технический совет НТС координировал работу 38 организаций МО.

Испытания сложных, территориально рассредоточенных систем вооружения потребовали организации измерений на огромной территории, что оказалось возможным лишь при широком использовании специальных космических аппаратов, оборудованных соответствующей бортовой аппаратурой.

Характерными особенностями задач измерений при испытаниях систем и средств ракетно-космической обороны являются:

- высокая точность измерений, особенно измерений взаимного положения объектов;
- измерения по большому числу объектов;
- измерения по объектам, движущимся с большой динамикой;
- измерения в условиях плазменных образований и др.

Главным результатом научных исследований по данному направлению явилось обеспечение измерениями испытаний систем вооружения воздушно-космической обороны.

Обоснование перспектив развития средств измерительных комплексов проводилось в ряде тем НИР. Основными научными результатами данного направления исследований стали:

- создание новых средств измерительных комплексов – РЛС «Кама-ИК», «Кама-Н», системы измерений на малых высотах «Информация», аппаратуры СЕВ «Ион», «Истра», «Беркут» и др.;
- ввод в строй на одном из полигонов высокоточной оптико-электронной системы измерений «Янтарь» и лазерного дальномера.

Важным этапом исследований по данному направлению явилась подготовка проекта «Перспективного плана модернизации существующих и создания новых средств полигонных измерительных комплексов для испытания вооружения».

Стремительное развитие вооружения и военной техники и методов их испытаний потребовало обобщения накопленного в различных видах ВС СССР опыта и выработки единой технической политики при планировании развития средств и систем полигонных измерений в масштабе Министерства обороны.

В результате выполнения комплексных НИР совместно с головными НИИ МО, полигонами и предприятиями министерств оборонных отраслей промышленности были разработаны обобщенные по Министерству обороны предложения по модернизации существующих и созданию новых средств полигонных измерительных комплексов. Разработаны также предложения по совершенствованию методологии испытаний на полигонах МО создаваемого вооружения.

Сотрудники НИИ МО и промышленности внесли большой вклад в создание средств испытаний РЛС, радиотехнических систем, оптических и оптико-электронных систем, радиотелеметрических систем, многие из которых по своим тактико-техническим характеристикам превосходили зарубежные аналоги.

В ходе выполнения исследований институтами МО разработаны предложения по обеспечению траекторными измерениями с целью осуществления объективного контроля опытно-исследовательских учений войск. Основными научными результатами стали методы:

- астрономических измерений;
- прогнозирования и уточнения эталонных данных по данным НАКУ и информационных средств Войск ПВО;
- определения координат летательных аппаратов с использованием физических полей Земли;
- паспортизации средств и комплексов траекторных измерений;
- определения параметров взаимного положения летательных аппаратов;
- построения высоконадёжных информационно-измерительных систем;
- построения систем единого времени для обеспечения испытаний вооружения и военной техники на полигонах;
- перспективного и оперативного планирования работы средств и систем испытаний;
- контроля испытаний вооружения и военной техники на полигонах иностранных государств с помощью аппаратуры, размещаемой на кораблях-носителях;
- обработки не совпадающих по времени траекторных и телеметрических измерений;
- коррекции систематических погрешностей.

Были также разработаны теория синтеза полигонных информационно-измерительных систем, руководства по испытаниям и комплекс оперативно-тактических требований по средствам и комплексам траекторных измерений, выпущены научные труды и монографии, опубликованные в открытой печати.

В сентябре 1976 г. по настоянию Войск ПВО страны, прежде всего 45 СНИИ, было принято постановление правительства о создании корабля «Титан» с комплексом «Коралл». Генеральным конструктором системы «Коралл» был назначен контр-адмирал М.А. Архаров.

Первоначально корабли такого класса, вооруженные системами специальных технических средств типа «Коралл», предназначались только для разведки испытаний средств стратегического ракетно-космического оружия вероятного противника с целью определения его тактико-технических характеристик. Ответственность за военно-научное сопровождение разработки системы «Коралл» в целом была возложена на Войска ПВО страны.

В процессе разработки корабля «Титан» с системой «Коралл» была установлена возможность его использования в интересах контроля космического пространства, прежде всего в Западном полушарии и в южных широтах Мирового океана.

В дальнейшем при проведении комплексной НИР «Аргонавт» разработано программно-методическое обеспечение испытаний системы «Коралл» корабля «Титан», определён состав и характеристики средств обеспечения испытаний и их взаимодействия с кораблём «Титан», обобщены методические положения проведения испытаний.

В 1988 г. корабль «Титан» с системой «Коралл» прошёл государственные испытания, активное участие в которых приняли сотрудники института В.А. Владимиров, Ю.В. Сныткин и др. В ходе испытаний система «Коралл» подтвердила соответствие своему назначению (добывать объективную информацию о перспективных средствах стратегического ракетно-космического оружия вероятного противника, баллистических целях и комплексах средств преодоления), а также возможность её использования в интересах контроля космического пространства.

После государственных испытаний в 1988 г. корабль «Титан», переименованный командованием ВМФ в «Урал», был передан в состав Тихоокеанского флота. Во время перехода из г. Балтийска в район г. Владивостока (южным путём) нашли подтверждение тактико-технические характеристики системы «Коралл» в реальных условиях эксплуатации. Успешно завершились работы по обнаружению и сопровождению многоцветной космической системы «Шаттл», различных ИСЗ военного назначения и аварийного пуска баллистической ракеты «Трайидент-2». В ходе создания и испытаний системы «Коралл» впервые был решён целый ряд важных научно-технических задач.

Постановлением правительства от 13 августа 1987 г. был определён порядок строительства второго корабля с системой «Коралл». Закладка второго корабля проекта была предписана в 1988 г. на Балтийском заводе им. С. Орджоникидзе. Учитывая исключительную важность запланированных работ, развернулась комплексная НИР по военно-научному сопровождению создания кораблей разведки испытаний средств стратегического ракетно-космического оружия вероятного противника, разведки и контроля космического пространства. Для подключения к этим работам промышленных предприятий под руководством полковника В.П. Овчарова было разработано тактико-техническое задание на комплексные научно-исследовательские изыскания «Коралл-М».

В связи со сложившейся обстановкой в стране и необходимостью сокращения ассигнований на вооружение и военную технику строительство второго корабля «Титан» было приостановлено. Это обстоятельство затормозило дальнейшие работы по реализации предложений, разработанных в комплексных НИР. Однако предложения по использованию кораблей с системами типа «Коралл» для контроля испытаний стратегического ракетно-космического оружия прорабатывались и позже в рамках комплексной НИР «Контроль-96» (научный руководитель — доктор технических наук, профессор В.Н. Минаев).

В конце 1990-х гг., в результате очередного реформирования Вооруженных сил и военной науки, тематика и основные подразделения по обоснованию перспектив развития измерительных комплексов войск и полигонов Министерства обороны были переданы в 46 Центральный

научно-исследовательский институт, руководить которым стал генерал-лейтенант И.М. Пенчуков — первый начальник 45 СНИИ. На момент передачи измерительной тематики 46 ЦНИИ МО руководил бывший сотрудник 45 СНИИ – генерал А.А. Рахманов.

Схема организации испытаний

Для получения оценок основных характеристик создаваемой системы требуется выбрать такой план экспериментов, который бы позволил оценить её реальные свойства.

Для каждого эксперимента существуют особенности их проведения, заключающиеся в составе проверяемых параметров, объёме и глубине проводимых проверок, составе привлекаемых средств обеспечения испытаний и ответственности участников выполняемых работ. Основными требованиями, которым должны удовлетворять испытания, являются:

- получение достоверных оценок характеристик испытываемой системы;
- минимизация затрат на проведение испытаний;
- сокращение сроков испытаний.

Причем оценки характеристик параметров желательно иметь для реальных условий функционирования средств и систем ВКО. Испытания завершают процесс создания системы ВКО и призваны ответить на вопрос о возможности её использования. Конечными задачами испытаний средств и систем ВКО являются:

- проверка соответствия их характеристик заданным требованиям, а также дополнительным требованиям, возникающим в процессе создания испытываемых объектов;
- получение сравнительных оценок испытываемых объектов;
- оценка их возможностей.

В процессе организации и проведения испытаний необходимо решить ряд вопросов научно-методического сопровождения, а именно:

- определение этапов, последовательности и сроков проведения испытаний;
- программно-методическое, материально-техническое и другое обеспечение испытаний;
- определение объёма проводимых проверок и соотношения натурного эксперимента с моделированием в рамках опытно-теоретического метода испытаний;
- уточнение принципов построения математических моделей и их использования в процессе испытаний;
- определение состава организаций, проводящих испытания, и круга их обязанностей и ответственности, а также состава руководящих и нормативно-технических документов, используемых при испытаниях, и отчётной документации;
- установление условий, достаточных для завершения испытаний.

Таким образом, испытания средств системы ВКО представляют собой сложную организационно-техническую систему, все элементы которой функционируют в непрерывном взаимодействии.

Обобщенная структура системы испытаний ВКО

Система испытаний ВКО (СИ ВКО) предназначена для эффективного проведения взаимоувязанных, полномасштабных и оперативных общесистемных исследований, проектирования, испытаний и отработки принципов боевого применения ВКО. СИ ВКО представляет собой сложную многокомпонентную территориально-распределённую автоматизированную систему, включающую в себя испытательно-моделирующие и вычислительные центры организаций-исполнителей с программно-реализованным комплексом взаимоувязанных математических моделей для проведения общесистемных исследований с помощью моделирования, испытательные центры для проведения комплексных натурных экспериментов с использованием образцов перспективных средств, командно-вычислительные пункты боевого управления стратегическими оборонительными средствами для отработки программно-реализованных алгоритмов боевого управления, их прототипов и макетов с помощью натурных экспериментов и комплексного имитационного моделирования, пункты и средства сбора, обработки и отображения информации измерительных комплексов полигонов при проведении натурных испытаний, создания банков данных, комплексные имитационно-моделирующие стенды, реализованные непосредственно на средствах системы ВКО.

Обобщенная структурная схема СИ ВКО представлена на **рис. 1**.

СИ ВКО в такой конфигурации позволяет эффективно и в кратчайшие сроки получать достоверную информацию для принятия ответственных решений по разработке сбалансированных проектов многоцелевых комплексных долгосрочных программ работ в области ВКО, соответствующего распределения ресурсов и их возможного перераспределения в условиях взаимного влияния хода работ по отдельным программам, обеспечивающих поэтапное взаимоувязанное развитие и совершенствование системы.



Рис. 1
Обобщенная структурная схема системы испытаний ВКО

СИ ВКО позволяет:

- оперативно проверять основные принципиальные технические решения по созданию перспективных средств, принципов боевого управления и получению данных для калибровки моделей с помощью экспериментальных образцов перспективных средств, проводить комплексные демонстрационные эксперименты (испытания);
- осуществлять отработку боевого управления перспективных систем, разработку прототипов и образцов систем управления на командно-вычислительных пунктах перспективных систем, заданных в ОКР, с широким использованием имитационных моделей и существующих каналов системы передачи данных, предназначенных для связи со средствами системы;
- оперативно формировать и пополнять банки данных и фонды программ для проведения сквозного моделирования с включением в цикл моделирования объектов и центров полунатурных экспериментов.

Методология технологии испытаний системы ВКО



Рис. 2, рис. 3

Мобильная оптико-электронная станция «Вереск».

Предназначена для траекторных измерений с обработкой и передачей результатов измерений в реальном масштабе времени, автоматического сопровождения объектов измерения с подвижных и стационарных измерительных постов, возможна установка на стационарный пост

Основой методологии испытаний системы ВКО является опытно-теоретический метод. Целесообразность использования опытно-теоретического метода для оценки эффективности создаваемых сложных систем обусловлена следующим. Натурный эксперимент представляет собой наилучший способ оценки характеристик системы в реальных условиях. Однако на практике при испытании таких сложных и уникальных систем, как ВКО, возможности натурных экспериментов существенно ограничены: невозможно активное изменение контролируемых условий во всём диапазоне реальных условий применения системы, требуются большие затраты времени и материальных ресурсов. Поэтому для испытания таких сложных систем используется сочетание

ограниченного натурального эксперимента и моделирования для всех реальных условий на вычислительных системах. В этом и заключается идеология опытно-теоретического метода.

Метод позволяет оценивать как отдельные подсистемы, их характеристики, так и характеристики всей системы в целом в виде показателя эффективности в широком диапазоне его изменений. При этом одновременно решается задача о наиболее рациональном объёме натуральных экспериментов. Основные положения опытно-теоретического метода:

- содержательное описание задачи, связанной с оценкой эффективности и её формализацией;
- уточнение степени и характера функциональной зависимости показателя эффективности от характеристики элементов системы и внешних условий;
- установление обобщённых параметров;
- определение требований по точности и достоверности искомых оценок;
- отбор релевантных факторов по априорным данным и т. д.;
- определение условий испытаний с помощью факторного планирования и выбор соответствующих методов оценки искомых характеристик при использовании различного рода информации о системе и её элементах (математическое моделирование, применение имитаторов, натуральный эксперимент);
- обоснование и выбор приемлемого состава и структуры необходимых моделей и имитаторов;
- планирование и организация натуральных экспериментов;
- обоснование объёма испытаний и количества экспериментов;
- отработка и калибровка математических моделей по результатам испытаний;
- оценка показателей эффективности системы.

Реализация опытно-теоретического метода связана с решением ряда задач. Проведение комплексного моделирования требует идентификации моделей, т. е. по заданным входу и выходу необходимо определить описание существенно нелинейной системы и проверить статистическую совместимость результатов комплексного (математического и имитационного) моделирования с результатами натурального эксперимента.

При проведении натурального эксперимента, во-первых, это определение контрольных точек факторного пространства, которые позволили бы получить экспериментальные данные для моделирования функционирования системы во всём пространстве. Во-вторых, это определение методов измерений для получения требуемой их точности и достаточности, объективный контроль статистических характеристик системы в ходе каждого натурального эксперимента. Эти задачи в основном решаются на полигонах, а для информационных средств — частично и в местах дислокации.

Задача идентификации математических моделей

Задача идентификации характеристик системы является одной из трёх задач, встречающихся в моделировании. Сформулируем их. Для этого будем различать три основных объекта: u — вход, S — собственно

система, y — отклик, или выход. Если необходимо по заданному входу u и известному описанию системы S отыскать выход y , или найти такой вход u , воздействие которого на неизвестную систему S вызовет требуемую реакцию y , или по известным входным и выходным сигналам u, y описать систему S , то говорят, что имеют дело с задачей соответственно анализа, управления и идентификации.

Последняя из них — задача идентификации, т. е. «определение на основании анализа входа и выхода такой системы из класса заданных систем, которой эквивалентна исследуемая система». Аналогичное определение задачи идентификации принадлежит Эйкхоффу. Отличие определения Эйкхоффа от приведенного заключается в том, что в нём вместо «определения ... системы из класса заданных систем ...» говорится о построении оптимальной в некотором смысле модели, т. е. математического описания системы. Такое определение несколько уже предыдущего, однако больше подходит к конкретной решаемой задаче, поэтому дальнейшие ссылки на определение задачи идентификации будут относиться к нему.

Согласно определению, кроме входных и выходных сигналов исследуемой системы в задаче идентификации важна её принадлежность к определенному классу заданных систем. Как правило, классы характеризуют довольно общими признаками, такими как линейность, стационарность, непрерывность, стохастичность. В меру необходимости перечисленные характеристики дополняются иными. Возможна также постановка задачи, в которой не указана принадлежность системы к какому-либо классу. В этом случае её классифицируют на начальных этапах идентификации.

Класс исследуемой системы, её входные и соответствующие им выходные сигналы — это та необходимая информация, при наличии которой можно приступить к построению модели. Дополнительные сведения, в частности, касающиеся структуры



Рис. 4, рис. 5, рис. 6
Мобильный видеорегистрирующий комплекс «Кратность». Мобильный, малогабаритный, дистанционно управляемый по радиоканалу видеорегистрирующий комплекс предназначен для определения параметров траектории высокодинамичных объектов на конечных участках траектории и величины промаха

и значений параметров системы, облегчают процесс идентификации. Степень использования априорной информации и её достоверность влияют на математическую постановку задачи и способы её решения. В этом плане независимо от класса различают два подхода.

Для первого характерно наличие обширной априорной информации о системе: считается, что известны структура системы и класс моделей, к которому она относится. В результате решения задачи идентификации необходимо отыскать параметры системы. В постановке задачи идентификации называют идентификацией параметров, или идентификацией в узком смысле. К настоящему времени накоплен значительный теоретический и практический опыт решения задачи идентификации в узком смысле. В большинстве случаев в них рассматриваются линейные системы с разнообразной формой представления моделей, таких как дифференциальные или разностные уравнения, импульсные характеристики и т. д.

В инженерной практике идентификация в узком смысле часто используется в процессе проектирования систем: на этапах аванпроекта по заданной (выбранной) структуре производят выбор параметров, на эскизном — их уточняют, на техническом и этапах изготовления опытных образцов, отработки в составе изделия, испытаний параметры идентифицируют с учётом характеристик аппаратуры. В функционирующих системах автоматического управления и регулирования для улучшения точности управления объектом или процессом с изменяющимися или неполностью определёнными характеристиками (параметрами) может быть предусмотрена идентификация параметров с целью использования их более точных значений в формировании управляющих воздействий.

Второй подход к идентификации систем отличается от первого скудностью информации об исследуемой системе, что вынуждает рассматривать её как «чёрный ящик». Это, с одной стороны, дополнительные трудности, связанные с выбором подходящей структуры математической модели, использованием сложного математического аппарата и т. д., которые, с другой стороны, окупаются возможностью освободиться от влияния конкретной природы отдельной задачи и этим расширить использование полученных результатов на классы систем с различной физической сущностью.

Решение задачи идентификации с использованием второго подхода называют идентификацией в широком смысле. По сравнению с первым подходом второй — более общий, а результаты — скромные, что объясняется трудностью задачи.

Математическое описание нелинейных стохастических систем

Изучение поведения нелинейных систем, представленных функциональными рядами, на вход которых поступает случайный сигнал, сводится к статистическому анализу. В общем случае выход этой системы также случаен, а отображение $u \rightarrow y$ — стохастическое. Описывают такую динамическую стохастическую систему с помощью моментов различного порядка. Для выхода системы, описываемой рядом при $1 \leq n \leq N$ и $h_0(t) = 0$, момент первого порядка может быть записан так:



Рис. 7

Квантово-оптическая система «Сажень-ТМ» (видеотеодолит). Предназначена для регистрации фаз полета целей, измерения их угловых координат и организации телевизионного репортажа в процессе испытаний на космодромах и полигонах

$$M\{y(t)\} = \sum_{n=1}^N \int_{E^i} h_i(t, \tau_1, \dots, \tau_i) M\left\{ \prod_{r=1}^i u(t_r) \right\} dv_\tau, \quad (3.1)$$

второго – в виде

$$M\{y(t_1)y(t_2)\} = \sum_{n_1=1}^N \sum_{n_2=1}^N \int_{E^{n_1+n_2}} h_i(t_1, \tau_1, \dots, \tau_{n_1}) \times h_i(t_2, \tau_{n_1+1}, \dots, \tau_{n_1+n_2}) M\left\{ \prod_{r=1}^{n_1+n_2} u(t_r) \right\} dv_\tau, \quad (3.2)$$

произвольного – так:

$$M\{y(t_1) \dots y(t_p)\} = \sum_{n_1=1}^N \dots \sum_{n_p=1}^N \int_{E^{\sum ip}} h_1(t_1, \tau_1, \dots, \tau_{n_1}) \times h_{n_p}(t_p, \tau_{\sum n_{p+1}+1}, \dots, \tau_{\sum n_p}) \times M\left\{ \prod_{r=1}^{\sum n_p} u(t_r) \right\} dv_\tau, \quad (3.3)$$

где M – математическое ожидание; $E^{\sum ip}$ – евклидово пространство с $\dim = \sum ip$, $n_1, \dots, n_p \in I$.

Из (3.3) следует, что для получения момента p выходного сигнала должны быть определены моменты входного сигнала до N_p . Вычисления по формулам (3.3), (3.2), (3.3) упрощаются, если в качестве входного сигнала рассматривать случайный процесс с нулевым математическим ожиданием и нормальным законом распределения.

К используемым на практике методам идентификации в широком смысле нелинейных стохастических систем относится дисперсионная идентификация. Дисперсионный метод идентификации основывается на дисперсионных характеристиках, представляющих собой условные моментные характеристики различных порядков, таких как $M(y|u)$, M_y , D_y , и дисперсий условных математических ожиданий $DM(y|u)$. Исходные предпосылки метода следующие:

- значение случайных переменных u и y не зависит от предыдущих и последующих опытов;

- выходная переменная y имеет нормальное распределение при фиксированном значении входной переменной u ;
- величина дисперсии условного математического ожидания $D(y | u)$ постоянна при изменении входного сигнала u .

На практике перечисленные предпосылки точно не выполняются. Нарушение условий 1 и 2 не влияет существенно на результаты идентификации, а неточность выполнения условия 3 сказывается значительно на качестве работы полученной модели в смысле её адекватности системе. Такие системы называют гетероскедастическими. Для них необходимо разобрать специальные методы.

В рассматриваемом методе идентификации дисперсионная функция представляет собой динамическую характеристику исследуемой системы. В математическом плане дисперсия случайной функции трактуется как обобщение корреляционного подхода, что позволяет воспользоваться уже имеющимся опытом применения корреляционных отношений. По результатам сопоставления дисперсионных и корреляционных функций судят о степени нелинейности идентифицируемого объекта, что очень важно при моделировании для принятия решения о принадлежности системы к определённому классу.

Идентификация нелинейных стационарных стохастических систем со структурой, отвечающей структуре модели Гаммерштейна, позволяет получить оптимальную в смысле среднеквадратической ошибки оценку весовой функции $h(t)$ линейной части системы. Находят её из так называемых дисперсионных уравнений, аналогичных уравнениям Винера – Хопфа. В зависимости от имеющихся экспериментальных данных, предшествующих построению модели, получаем дисперсионные уравнения различного вида. Приведем некоторые из них.

Пусть известна регрессия $M[y(t) | u(t)]$. Тогда получаем выход модели в виде

$$y(t) = \int_{-\infty}^t h(t - \tau) M[y(t) | u(t)] d\tau \tag{3.4}$$

Особенность математической модели (3.4) заключается в том, что она нелинейна относительно случайного входного воздействия $u(t)$ и линейна относительно математического ожидания $M[y(t) | u(t)]$. Выход модели y в фиксированный момент времени аппроксимируется взвешенной суммой оценок этого значения при входном воздействии, усечённом в этот же момент времени.

Приравнивая выход $y(t)$ к требуемому выходному сигналу и учитывая то, что условное математическое ожидание $M[y(t) | u(t)]$ является наилучшей среднеквадратической оценкой выходного процесса $y(t)$, находим оптимальную оценку $h(t, \tau)$ в выражении (3.4). Учитывая это, получаем дисперсионное уравнение вида

$$\int_{-\infty}^t h(t - \tau) \theta_{yy|uu}(t - \tau, t - \sigma) d\tau = \theta_{yu}(t - \tau), t, \tau, \sigma \in T, \tag{3.5}$$

$$\text{где } \theta_{yy|uu}(t - \tau, t - \sigma) = \text{cov}[M(y(t) | u(t)), M(y(\tau) | u(\sigma))], \tag{3.6}$$

$$\theta_{yu}(t - \tau) = DM[y(t) | u(\tau)]. \tag{3.7}$$

Решая уравнение (3.5), находим оптимальную весовую функцию $h(t - \tau)$, наилучшую в смысле среднеквадратического приближения выхода модели к выходу системы и теоретической регрессии

$$M[y(t) | u(t)], \tau \in (-\infty, t).$$

Если вместо регрессии $M[y(t) | u(t)]$ известна авторегрессия $M[y(t) | u(\tau)]$, то вместо (3.4) получаем следующее выражение:

$$y(t) = \int_{-\infty}^t h(t, \tau) M[u(t) | u(\tau)] d\tau \quad (3.8)$$

При тех же, что и в предыдущем случае, предположениях, заменах и выкладках запишем дисперсионное уравнение

$$\int_{-\infty}^t h(t, \tau) \theta_{uu|uu}(t, t, \tau, \sigma) d\tau = \theta_{yu}(t, \sigma), \quad (3.9)$$

где обобщённая автодисперсионная функция процесса $u(t)$ и взаимная дисперсионная функция процессов $y(t)$ и $u(t)$ вычисляются по формулам

$$\theta_{uu|uu}(t, t, \tau, \sigma) = \text{cov} \{M[u(t) | u(\tau)], M[u(t) | u(\sigma)]\}, \quad (3.10)$$

$$\theta_{yu}(t, \sigma) = \text{cov} \{M[y(t) | u(\sigma)]\} \quad (3.11)$$

Выход модели системы с параллельным включением линейных подсистем $h_1(t)$ и $h_2(t)$ и взвешенными регрессией и авторегрессией для каждой из них в общем случае запишем так:

$$y(t) = \int_{-\infty}^t h_1(t, \tau) M[y(t) | u(\tau)] d\tau + \int_{-\infty}^t h_2(t, \tau) M[u(t) | u(\tau)] d\tau \quad (3.12)$$

Из модели (3.12) получают два дисперсионных уравнения идентификации:

$$\int_{-\infty}^t h(t, \tau) \theta_{yy|uu}(t, t; \tau, \sigma) d\tau + \int_{-\infty}^t h_2(t, \tau) \theta_{yu|uu}(t, t; \tau, \sigma) d\tau = \theta_{yu}(t, \sigma), \quad (3.13)$$

$$\int_{-\infty}^t h(t, \tau) \theta_{yu|uu}(t, t; \tau, s) d\tau + \int_{-\infty}^t h_2(t, \tau) \theta_{uu|uu}(t, t; \tau, s) d\tau = \theta_{yu|uu}(t, t; s) d\tau, \quad (3.14)$$

где

$$\theta_{yu}(t, \sigma) = M[y(t) M[y(t) | u(\sigma)]], \quad (3.15)$$

$$\theta_{yu|u}(t, t, s) = M[y(t) M[u(t) | u(s)]], \quad (3.16)$$

$$\theta_{yu|uu}(t, t, \sigma, \tau) = M[M[y(t) | u(\sigma)] M[u(t) | u(\tau)]]. \quad (3.17)$$

Это дисперсионные функции. Решить два уравнения (3.13), (3.14) труднее, чем одно (3.5) или (3.9), поэтому при практически одинаковых точностях оценки импульсных характеристик с помощью любого из приведённых способов предпочтение отдадут первым двум уравнениям.

В случае нелинейной нестационарной стохастической системы задача идентификации может быть сведена к задаче математического

программирования. Для этого выход модели y сравниваем с выходом системы z , формируем функционал качества Φ , равный модулю или квадрату модуля разности $z-y$, и, определяя экстремум Φ , вычисляем ядра Вольтерра.

Идентификация нелинейных систем — сложный вопрос. На сегодняшний день не существует единого подхода к его решению, который можно рекомендовать для получения приемлемых результатов, возникающих в большинстве ситуаций. Все известные алгоритмы имеют свои сильные и слабые стороны, о каждом из них следует судить только в связи с решаемой задачей. Однако для любого из алгоритмов важным моментом является выбор структуры такой модели, в которой число исходных данных было бы наименьшим, а техника их измерения — нетрудной.

Следует отметить также простоту построения модели и её применение. Исходя из такой позиции, определяем сначала класс систем, для которых используется идентификация, и далее, сравнивая отдельные характеристики различных подходов к идентификации систем «вход-выход», оцениваем их с точки зрения практического использования.

Прежде всего интерес представляют системы управления с обратной связью. В них качество управления в большой степени зависит от наперёд заданной информации об объекте управления. Априорная информация, характеризующая объект управления, как правило, всегда отличается от используемой в контуре управления, что влияет на работу системы в целом и на точность управления в частности. Улучшить точность управления возможно путём уточнения характеристик объекта управления, т. е. путём идентификации. В результате должна быть получена модель, в большей мере адекватная управляемому объекту, с помощью которой найдена и устранена неточность (ошибка) в выборе команд управления.

Модель в контуре управления может оказаться весьма уместной в случае разрыва обратной связи в системе. Тогда объект ненаблюдаем и судить о его поведении можно с помощью модели. В таком случае модель выполняет функцию прогнозирования поведения объекта управления. За счёт этого система может до восстановления обратной связи выполнять свою задачу с успехом, который находится в прямой зависимости от адекватности модели реальному объекту.

Следовательно, идентификация объекта управления в контуре системы должна вестись в реальном масштабе времени. Метод идентификации, используемый в таком контуре управления, должен обладать свойством, в результате которого идентификация, полученная на заданном ограниченном промежутке времени, даёт наименьшую погрешность по сравнению с другими методами при тех же временных ограничениях.

Статистическая совместимость результатов комплексного моделирования и натурального эксперимента

Одна из задач, подлежащая решению в ходе комплексного моделирования, связана с проверкой взаимной увязки отдельных частей системы. При этом проверяются соответствие входных и выходных

переменных, согласованность перечня данных, идентичность ограничений и т. п. В ходе комплексного моделирования наряду с реальными элементами используется и ряд моделей, имитирующих внешние условия, а также работу отдельных элементов системы. В этом случае необходимо гарантировать соответствие взаимодействия всех реальных и имитируемых элементов. С учётом характера задач выбирают тип и структуру модели и отбирают релевантные факторы. Для одних и тех же условий работы системы делают несколько натуральных и модельных экспериментов. Сравнивая результаты моделирования и экспериментов, проводят доработку модели.

Одним из основных этапов отработки моделей является проверка статистической совместимости результатов моделирования с результатами натурального эксперимента. Для решения такого рода задачи целесообразно использовать методы статистической проверки гипотез. В статистике существует много методов проверки гипотезы о том, что две выборки принадлежат одной и той же генеральной совокупности. Здесь предлагается один из возможных подходов.

Рассмотрим статистическую задачу проверки гипотез об однородности двух выборок (X — выборка результатов моделирования, Y — выборка результатов натурального эксперимента). Задача состоит в том, чтобы подтвердить или опровергнуть гипотезу, что выборки X и Y извлечены из одного и того же распределения. Основой сравнения служат числовые характеристики выборок, которые носят случайный характер.

Задача об однородности в общем случае для двух выборок X и Y выглядит следующим образом. Обозначим через $G(t)$ и $F(t)$ распределения выборок X, Y :

$$X \in G(t), Y \in F(t), \quad (3.4.1)$$

где \in — знак, употребляемый между обозначениями выборки и распределения и означающий, что выборка извлечена из данного распределения.

Пусть задана измеримая функция f от s аргументов. Для выборки X — $f(X) = f(x_1, \dots, x_s)$ назовем статистикой (выборочная характеристика). Любая статистика есть случайная величина, заданная на вероятностном пространстве $(\mathcal{N}^s, \mathcal{B}_x^s, P)$, где \mathcal{N}^s — выборочное пространство, \mathcal{B}_x^s — s -алгебра, порождённая множествами

$$\cup_{i \leq s} \{x_i \in B_i\}, \quad B_i \in \mathcal{B}_x^s \quad (3.4.2)$$

P — s -кратное прямое произведение одномерных распределений случайной величины x_i (элемент выборки).



Рис. 8
«Кама-ИК» - высокоточная РЛС траекторных измерений. Предназначена для высокоточного измерения координат динамических целей

В дальнейшем будем вести речь о проверке каких-либо предположений (гипотез) $H_m, m=1, \dots, r$ относительно распределения P , из которого извлечена выборка X . Речь пойдет об определении процедуры принятия решения по выборке X , т. е. задания в той или иной форме отображения выборочного пространства C^s на множество рассматриваемых гипотез H , т. е.

$$\pi: C^s \rightarrow H_1, \dots, H_r. \quad (3.4.3)$$

Такое отображение называется статистическим критерием. Другими словами, $p(X)$ есть случайная «величина», принимающая значения H_1, \dots, H_r .

Для рассматриваемой задачи проверяется гипотеза $H_1 = \{G=F\}$ (выборки имеют одно и то же вероятностное распределение) против $H_2 = \{G \neq F\}$ (законы распределения выборок различны). Обе гипотезы являются сложными. Распределения G и F могут выбираться из заданного семейства распределений \mathcal{R} или быть произвольными. Выбор соответствующей гипотезы $H_i, i=1, 2$ основывается на статистическом критерии π . Принцип построения статистического критерия основывается на объединении выборок X и Y в одну (X, Y) , так что $\pi = \pi(X, Y)$ — есть вероятность принять H_2 при задании выборки (X, Y) .

Критерий π согласно [5] определяется критической областью $\Omega \in \mathcal{N}^n$, где \mathcal{N}^n — пространство значений объединённой выборки (X, Y) объёма n , такой, что при $(X, Y) \in \Omega$ принимается гипотеза H_2 .

$$\text{Число } 1 - \varepsilon = \inf_{G \in \mathcal{R}} G \times G ((X, Y) \notin \Omega) \quad (3.4.4)$$

называется уровнем значимости, а значение

$$\beta \pi(G, F) = G \times F ((X, Y) \in \Omega), G \in \mathcal{R}, F \in \mathcal{R} \quad (3.4.5)$$

— мощностью критерия.

Рассмотрение критериев можно проводить в параметрическом или непараметрическом случае. Способ рассмотрения определяется уровнем априорной информации о распределении выборки.

Для параметрического случая характерно задание параметрического семейства распределений $\{P_\theta\}_{\theta \in \Theta}$ и независимых выборок X и Y объёмов s и h соответственно, относительно которых заранее известно, что они относятся к семейству P_θ .

Основой для построения критериев однородности в непараметрическом случае является использование разного рода «расстояний» $d(G^*_X, F^*_Y)$, удовлетворяющих условиям, описанным в известной литературе. Здесь G^*_X, F^*_Y — имперические распределения, соответствующие выборкам X и Y . Если вероятность

$$G \times G (d(G^*_X, F^*_Y) > c) = \varepsilon \quad (3.4.6)$$

и не зависит от выбора распределения G , то критерий π , определённый неравенством

$$\pi(X, Y) = 1, \text{ если } d(G^*_X, F^*_Y) \leq \varepsilon \quad (3.4.7)$$

$\pi(X, Y) = 0$, в противном случае

называется непараметрическим с уровнем значимости $(1 - \varepsilon)$. Таким образом, решение о соответствии результатов моделирования и натурного эксперимента может быть принято на уровне значимости $(1 - \varepsilon)$.

При выборе условий проведения экспериментов необходимо учитывать тот факт, что результаты, полученные различными методами на различных средствах обеспечения испытаний, должны быть статистически согласованы. Окончательный вывод о значениях характеристик соз-

данной системы делается на заключительном этапе испытаний с учётом результатов всех предыдущих этапов.

Отработка моделей завершается этапом паспортизации, представляющей собой проверку правильности сопряжения всех элементов системы.

Планирование эксперимента для оценки показателей эффективности системы



Рис. 9

«Янтарь» - Оптико-электронная станция траекторных измерений. Предназначена для высокоточного измерения угловых координат высокодинамических целей

Для оценки показателей эффективности системы с помощью факторного планирования выбираются условия испытаний сложной системы, которые являются основой для выбора минимально необходимого набора экспериментов — натуральных и модельных.

В процессе планирования испытаний необходимо предусмотреть создание условий, которые выявляют влияние факторов, находящихся в функциональной связи с оцениваемой характеристикой. Для этого необходимо знать эту функциональную зависимость и предусмотреть изменения факторов в ограниченных пределах. Тогда выбор условий испытаний подразумевает отбор факторов и установление диапазона их изменения, определение координат факторного пространства, в которых следует проводить эксперименты, а также их необходимого количества.

Зависимость искомой характеристики системы от различных переменных для сложных систем трудно поддаётся аналитическому описанию. Поэтому часто в таких случаях прибегают к аппроксимации полиномами различной степени. Обычно стремятся сначала линеаризовать зависимость путём различных преобразований, а затем снизить размерность аппроксимирующего полинома. Задача, связанная с получением наилучшего влияния выбранных переменных на функцию отклика, сводится к выбору оптимального в некотором смысле расположения точек в факторном пространстве. К сожалению, в реальных условиях не всегда можно обеспечить проведение натуральных экспериментов в точ-

ках, соответствующих лучшим вариантам. В таких случаях использование оптимальных планов, тем более полных факторных планов, не всегда возможно.

Теория планирования имитационного эксперимента является менее разработанной, чем классическая теория планирования натурального эксперимента. Заметим предварительно, что имитационный эксперимент доставляет больше возможностей для управления, чем натуральный, так как при имитационном эксперименте распределения случайных величин находятся в распоряжении экспериментатора, а при натурном — определяются ограничениями как на условия, так и на располагаемые средства проведения экспериментов.

Полагаем, что имеется множество совокупностей условий $\sigma_1, \sigma_2, \dots$, причем каждая из совокупности σ_i может дать ответ на интересующий вопрос. Предполагается, что для каждого σ_i определено значение затрат $s(\sigma_i)$, $\sigma_i \in J$ ($i \in I$), где J и I — заданные множества, и задача состоит в выборе такого i , при котором s_i минимально.

При разработке метода планирования с помощью имитации эксперимента на ЭВМ по оценке эффективности системы полагаем заданными два множества $\{u\}=F1$ — множество входных воздействий (управлений), $\{y\}=F2$ — множество значений координат объекта и имитационная модель $A: F1 \rightarrow F2$, которая обеспечивает сопоставление входным воздействиям значения из множества $\{y\}$. В результате эксперимента получаем $\hat{y}=\hat{A}(u)$, которое отличается от $y=A(u)$ из-за экспериментальных ошибок. Относительно множества $F2$ можно полагать, что для любых двух его элементов y_1 и y_2 определено расстояние $p(y_1, y_2)$. Так как $F2$ является метрическим пространством, то расстояние $p(A(u), \hat{A}(u))$ является мерой близости между $y=A(u)$ и $\hat{y}=\hat{A}(u)$.

При идентификации систем (восстановлении оператора A) выбирается множество операторов \hat{A} — «моделей», определенных на $F1$ с множеством значений в $F2$. В такой постановке задачи обычно рассматривают два вида погрешностей $p(A(u), \hat{A}(u))$ — систематическая погрешность, $p(\hat{A}(u), \hat{A}(u))$ — случайная погрешность. Два вида погрешностей и функция стоимости $s(u)$ служат для формирования качества эксперимента. Если критерий зависит от совокупности величин и функций x , которыми распоряжается экспериментатор, то задача оптимального выбора x и является задачей планирования эксперимента.

Планирование эксперимента предполагает наличие математической модели и критерия оптимальности. Сложный характер критериев требует специальных методов оптимизации. Модель создается на базе априорных или результатах предварительных экспериментов. Имитационные модели позволяют отрабатывать методы планирования натуральных экспериментов, а с использованием опытно-теоретического метода — сложные технические системы.

Основные методы измерения траекторий испытуемых объектов

Траекторные измерения относятся к косвенным измерениям. Каждый метод измерения траекторий характеризуется совокупностью измеряемых параметров сопровождения объекта, позволяющей определить



Рис. 10

«Кама-Н» - РЛС траекторных измерений. Предназначена для измерения координат и скорости динамических целей при проведении испытаний

параметры его движения как материальной точки (координаты местоположения, вектор путевой скорости, углы траектории и т. д.).

Для определения параметров траектории движения объекта используются разнотипные средства наземного траекторного измерительного комплекса полигона, которые позволяют измерять следующие параметры сопровождения объекта:

- наклонную дальность до объекта D с измерительного пункта (ИП);
- углы визирования объекта с измерительного пункта, представленные в виде азимутального угла α и угла места b или в виде направляющих косинусов $\cos b_x$, $\cos b_y$ и $\cos b_z$, определяющих направление линии визирования объекта в местной системе координат;
- разности дальностей до объекта ΔD_{ij} с различных измерительных пунктов ИП- i и ИП- j ;
- скорость изменения дальности до объекта и скорость изменения направляющих косинусов (скоростные параметры сопровождения, производные координатных параметров).

К основным методам измерения траекторий, используемым на полигонах в настоящее время, относятся: пеленгационный (угломерный, дальномерно-пеленгационный, дальномерный (метод трёх дальностей), гиперболический (разностно-дальномерный), а также шестипараметрический и астрометрический методы. Методы могут быть реализованы с использованием наземных радиотехнических, оптических средств, в том числе космической системы ГЛОНАСС.

Варианты шестипараметрического метода основываются на пеленгационном, дальномерно-пеленгационном и дальномерном методах измерений, но в отличие от них позволяют, кроме вектора местоположения объекта, дополнительно измерять и вектор скорости его полёта. Астрометрический же метод можно рассматривать как вариант пеленгационного, при котором угловые направления не измеряются непосредственно, а вычисляются в результате астрометрической обработки

фотоснимков объекта на фоне звёздного неба. Особенность указанных методов состоит в том, что для их реализации требуется специальная измерительная аппаратура и алгоритмы обработки информации.

Средние квадратические погрешности координат (а при шести-параметрическом методе — и составляющих скорости полёта объекта) вычисляются на ЭВМ по программе, единой для всех методов измерения. Построение алгоритма, реализуемого в программе, обусловлено методами измерения траектории.

Если представить совокупность искомых параметров траектории ($x, y, z, \dot{x}, \dot{y}, \dot{z}$) как вектор L , а совокупность измеряемых параметров — как вектор a , то систему исходных уравнений для определения параметров траектории можно записать в следующем виде:

$$L = \Phi[a],$$

где Φ — оператор связи между этими векторами.

Если число искомых параметров равно числу измеряемых, то система уравнений имеет единственное решение (например, при дальномерном или дальномерно-пеленгационном методах).

$$a = \Phi^{-1}[L]$$

Если число измеряемых параметров превышает число искомых, имеющаяся избыточность используется для уточнения параметров траектории по методу наименьших квадратов. Соответствующая система условных уравнений решается методом последовательных приближений. За нулевое приближение принимается решение, полученное на основании неизбыточного сочетания измеренных параметров. Алгоритм записывается в виде рекуррентной зависимости

$$L_n = L_{n-1} + [(F_{n-1}^T K^{-1} F_{n-1})^{-1} F_{n-1}^T K^{-1}] \Delta a, \text{ где}$$

$L_n = L_{n-1}$ решения соответственно на $(n-1)$ -м и n -шагах приближения;

K — корреляционная матрица ошибок вектора измеренных параметров a , принимаемых взаимно независимыми; для дальномерного варианта она имеет диагональный вид;

F_{n-1} — матрица частных производных $d\Phi/dL$;

Δa — невязка между измеренным и вычисленным на $(n-1)$ -м шаге значениями вектора a .

При достаточном и избыточном числе измеряемых параметров среднеквадратические погрешности параметров траектории (координат и скорости) вычисляются как элементы корреляционной матрицы K_L вектора L , которая определяется на основе известной зависимости

$$K_L = (F_{n-1}^T K^{-1} F_{n-1})^{-1}$$

Приведенная схема оценки точности удобна при использовании ЭВМ, так как выражения для элементов основной матрицы F (частных производных от измеряемых параметров по координатам и скорости в местной системе координат) не зависят от метода измерения траектории. Методы измерения траектории различаются между собой в этом смысле только составом элементов матриц F и K , в соответствии с набором измеряемых при данном методе параметров a .

Пеленгационный метод

При этом методе измеряются направления визирования летящего объекта с двух (не менее) удалённых друг от друга измерительных пунктов. Для измерений используются оптическая аппаратура и фазовые

пеленгаторы. Расстояние между пунктами B_1 называется базисным.

С помощью оптической аппаратуры измеряются углы визирования объекта, с помощью фазовых пеленгаторов — косинусы направляющих углов.

Начало местных систем координат O_1 для оптических приборов совмещается с главной точкой объектива, для фазовых пеленгаторов — с центром антенного поля. Горизонтальные оси местной системы координат для оптических приборов могут быть ориентированы в произвольном направлении (для упрощения преобразований оси абсцисс удобнее ориентировать в направлении на север), а для фазовых пеленгаторов они совмещаются с соответствующими координатными осями антенного поля.

Двухпунктной парой оптических станций или двухпунктной парой фазовых пеленгаторов измеряются четыре параметра и, следовательно, один из них является избыточным.

Местоположение объекта при пеленгационном методе измерения определяется по так называемым формулам прямой засечки как точка пересечения проекций линий (лучей) визирования объекта с двух измерительных пунктов на плоскость визирования (плоскость, содержащую базу B и луч визирования объекта с того или другого ИП). Для расчетов используются все четыре параметра. Невязки в этом случае возникают в направлении, перпендикулярном плоскости визирования, и практически равны кратчайшему расстоянию между лучами визирования, которые рассматриваются как пересекающиеся прямые. По сравнению со всеми другими вариантами конечных формул определения координат формулы прямой засечки являются оптимальными по точности для любой точки пространства. При оптических и фазометрических измерениях они позволяют пользоваться единой математической схемой для расчёта координат.

Дальномерно-пеленгационный метод

Метод основан на измерении дальности и двух углов визирования объекта (азимутального угла и угла места или косинусов направляющих углов). В связи с этим возможны несколько вариантов реализации метода:

- радиолокационный, когда дальность D_t , азимутальный угол S_t и угол места b_t измеряются одной и той же радиолокационной станцией;



Рис. 11

Радиотелеметрическая система.
Радиотелеметрическая система для приема телеметрической информации от испытываемых объектов

- лучевой, когда дальность D и косинусы направляющих углов $\cos b_y$ и $\cos b_z$ измеряются одной и той же радиотехнической системой;
- дальномерно-угломерный, при котором дальность до объекта D измеряется радиолокатором, а азимутальный угол и угол места – с помощью оптической станции;
- дальномерно-угломерный, при котором дальность D_1 до объекта измеряется радиолокатором, а направляющие косинусы $\cos q_{x_1}$ и $\cos q_{z_1}$ – фазовым пеленгатором, расположенным на одном и том же или разных измерительных пунктах.

В настоящее время дальномерно-пеленгационный метод с наиболее высокой точностью реализуется в вариантах «радиолокатор – кинотеодолит» и «радиолокатор – фазовый пеленгатор» при условии размещения дальномера и пеленгатора на одном и том же измерительном пункте, когда лучи визирования объекта пересекают поверхности сфер, определяемых значениями дальности, практически под прямыми углами. С удалением дальномера от пеленгатора значения углов уменьшаются, а методическая погрешность определения местоположения возрастает до максимальной, когда луч визирования только касается поверхности сферы. В связи с этим дальномерно-пеленгационный метод в основном следует использовать как однопунктный.

Высокая точность и автономность каждого отдельного измерительного пункта сочетаются также с удобствами эксплуатации аппаратуры.

Другим достоинством однопунктного дальномерно-пеленгационного метода является независимость точности измерения траектории от азимутального направления на объект. Вследствие этого точные измерения обеспечиваются в обширной зоне, что существенно упрощает выбор более выгодной трассы полётов объекта.

Совместное использование пеленгатора и дальномера, размещённых на разных пунктах, следует считать целесообразным только в случаях, когда для определения траектории не имеется других, более выгодных сочетаний измерительных средств.

Дальномерный метод

Схема измерения траектории дальномерным методом следующая: три измерительных пункта измеряют дальности D_1 , D_2 и D_3 до объекта. Местоположение объекта определяется как точка пересечения трёх сферических поверхностей с радиусами D_1 , D_2 и D_3 и центрами в пунктах размещения дальномеров ИП-1, ИП-2 и ИП-3.

Для испытаний комплексов ВКО при дальномерном методе используются радиолокационные станции типа «Кама». Большая дальность действия станций при работе в активном режиме (с бортовыми приёмоответчиками) обеспечивает обширные зоны точных измерений, если размеры сторон базисных треугольников близки к оптимальным.

К основным недостаткам дальномерного метода относятся низкая точность измерения малых высот полёта и многопунктность, усложняющая условия эксплуатации аппаратуры и снижающая надёжность получения необходимого объёма информации.

В отличие от пеленгационного при дальномерном методе погрешности координат практически не зависят от изменения масштаба геометрических фигур, определяющих положение объекта относительно пунктов размещения дальномеров, поскольку погрешность измерения

дальности несущественно зависит от значения самой дальности. Поэтому при сохранении подобия во взаимном расположении объекта и дальномеров погрешности координат не зависят от размеров сторон базисного треугольника, что является преимуществом дальномерного метода для точного измерения траекторий объектов на больших высотах полёта, при этом необходимо только выбирать базисный треугольник соответствующих размеров.

Наиболее обширная зона точных измерений получается, если измерительные пункты образуют равносторонний базисный треугольник. Лучшая точность в определении всех трёх координат обеспечивается при нахождении объекта над центром треугольника на высоте, равной 0,4 базы. В этой точке поверхности всех трёх сфер пересекаются под прямыми углами, а погрешности координат равны погрешности в измерении дальности. С увеличением высоты наиболее быстро возрастают погрешности горизонтальных координат, а при ее уменьшении — погрешности в определении высоты.

Гиперболический метод

Для испытаний маловысотных систем ВКО могут применяться фазовые гиперболические измерительные системы (ФГИС), в которых используются средне-, коротко- или длинноволновый диапазоны.

Фазометрический гиперболический метод основан на определении разностей расстояний между объектом в полёте и ведомыми передающими станциями (ВМ-1, ВМ-2) и между объектом и наземной ведущей станцией; эти величины получаются путём измерения разности фаз радиоволн, излучаемых станциями и принимаемых на борту объекта. Радиотехнические системы ФГИС пригодны для определения местоположения объектов при значительных удалениях за пределы прямой видимости вследствие рефракции прямой радиоволны в атмосфере и ее дифракции около земной поверхности (поверхностная радиоволна). В этом заключается основное преимущество таких гиперболических систем при измерении траекторий объектов на малых высотах полёта по сравнению с другими.

Другим преимуществом ФГИС является многоканальность, т. е. возможность измерять траектории одновременно нескольких объектов. При регистрации и сохранении информации на борту объектов число измерительных каналов у этих систем принципиально не ограничено. Практически их многоканальность снижается только при передаче измерительной информации с бортов объектов на наземные или самолётные приёмные радиотелеметрические пункты, т. е. ограничивается числом частотных каналов (литеров) применяемых радиотелеметрических систем.

Гиперболический метод используется для измерения только горизонтальных (плановых) координат местоположения объекта. Измерительный комплекс системы состоит из трёх наземных станций — ведущей и двух ведомых. Высота полёта объекта измеряется автономными бортовыми средствами: радиовысотомерами (относительно поверхности Земли), а в некоторых случаях — и барометрическими высотомерами (над уровнем моря). Для измерения высоты гиперболическим методом необходима четвертая наземная станция. Однако достаточно точное её измерение возможно только при большой высоте полёта объ-

екта и сравнительно небольших его удалениях от станций, т. е. при таких условиях, когда гиперболический метод уже утрачивает свои преимущества по сравнению с другими методами траекторных измерений. Сколь-нибудь точное определение малых высот гиперболическим методом невозможно в основных зонах измерения вследствие большой крутизны приземных участков поверхностей всех трёх гиперболоидов (поверхностей положения).

Астрометрический метод

Основным отличием астрометрического метода определения угловых координат объектов является использование внешней системы отсчёта. Опорная система координат в этом случае строится с помощью звёзд. Погрешность положений звёзд в современных каталогах на порядок меньше погрешности построения системы отсчёта у оптических и радиотехнических измерительных средств. Большое число реперных точек (изображений звёзд на снимке) позволяет учитывать в процессе обработки астрометрических наблюдений погрешности из-за аберраций объектива и деформаций фотоматериала. В результате достигается высокая точность измерения угловых координат, появляется возможность использовать для измерений широкоугольные и широкоформатные камеры с углом зрения до 30° и размером кадра до 300×300 мм, не требующие слежения за объектом. Использование же широкоугольных камер позволяет осуществлять одновременное измерение координат группы объектов.

Астрометрический метод отличается высокой точностью определения угловых координат летящих объектов (искусственных спутников Земли, самолётов, оборудованных импульсными лампами, и т. д.), поэтому он широко используется при паспортизации оптических и радиотехнических измерительных средств.

Основной недостаток астрометрического метода — значительная трудоёмкость измерения координат изображений звёзд и объектов, сложность автоматизации этой операции.

Сравнительная характеристика методов измерения траектории

Каждый из методов измерения траекторий имеет свои особенности и эффективен только в каких-то определённых, в той или иной степени ограниченных условиях применения. Поэтому разнообразные задачи траекторных измерений при полигонных испытаниях современных систем ВКО не могут быть решены с помощью только какого-либо одного типа измерительной аппаратуры или одного метода измерения. В измерительном комплексе полигона используются различные методы и средства измерения. По своим характеристикам они должны дополнять друг друга с целью наиболее полного обеспечения испытаний систем ВКО всех типов и на всех этапах при минимальных затратах.

Какой метод измерения траектории находит наиболее широкое практическое применение на полигонах, зависит не только от его основных свойств. Не меньшее значение имеет и то, как эффективно эти свойства могут быть использованы при существующих измерительных

средствах. С улучшением характеристик аппаратуры (по точности и дальности действия измерительных каналов, диапазонам параметров сопровождения и др.) зоны определения параметров траектории с требуемой точностью соответственно расширяются для всех методов измерения. Расширение же зон точных измерений позволяет увеличить и круг задач испытаний, при решении которых может быть отдано предпочтение более простым и перспективным методам измерения. Следовательно, сравнивать методы измерения траектории между собой по их достоинствам и недостаткам необходимо с учётом всех ограничений, которые обуславливаются используемой аппаратурой и определяют реальные возможности каждого метода в настоящее время.

При испытаниях систем ВКО наибольшее распространение получили пеленгационный и дальномерно-пеленгационный методы.

Для пеленгационного метода используется оптическая аппаратура. При небольших удалениях объекта от измерительных пунктов пеленгационный метод позволяет измерить траекторию точнее, чем дальномерно-пеленгационный (использующий те же угломерные каналы). Поэтому пеленгационный метод следует использовать преимущественно для измерения траекторий объектов при сравнительно небольших удалениях и высоте полёта (менее 100 км при $D = 15$ м и $H = 30^\circ$) на участках полёта, где требуется высокая точность измерения (начальный участок полёта ракеты, участок встречи ракеты с мишенью и т. п.).

Для измерения начальных участков преимущественно используются кинотеодолиты, а участков встречи — фазовые пеленгаторы. Кинотеодолиты и кинотелескопы в районе встречи используются главным образом в случаях сближения ракеты с мишенью на небольших высотах. Поскольку удаление кинотеодолитов от стартовой позиции ограничено заданной точностью и условиями видимости, для измерения начального участка траектории полёта скоростных ракет, разгоняемых мощными двигателями, необходимы кинотеодолитные станции с достаточно высокими динамическими характеристиками приводов. При оценке точности радиотехнических измерительных средств полигона, а также станций наведения и управления кинотеодолитные измерения используются как эталонные. Полёты проводятся в зоне действия кинотеодолитной пары.

Основной недостаток пеленгационного метода заключается в резком снижении точности с удалением от измерительных пунктов, поскольку ошибки в определении местоположения нарастают пропорционально удалению объекта, а также вследствие уменьшения углов пересечения лучей визирования. В связи с этим зона точного измерения траектории резко ограничена по дальности и особенно по высоте и находится в строгой зависимости от размеров базы пеленгаторов. Расширение зоны путём увеличения базы приводит к общему снижению точности измерения и утрате основного преимущества этого метода.

Для измерения траекторий объектов ВКО наиболее простым и совершенным является дальномерно-пеленгационный метод, если он используется как однопунктный. Особенность этого метода состоит в том, что при любом направлении на объект поверхность положения, измеряемая дальномерным каналом (сфера), всегда ортогональна поверхностям положения для угломерных каналов. При радиолокационном же варианте и варианте «радиолокатор — кинотеодолит» ортогональны друг другу все три поверхности положения (сфера, вертикальные плоскость

и конус). Это свойство дальномерно-пеленгационного метода позволяет оптимально использовать точность измерительных каналов аппаратуры во всех точках окружающего измерительный пункт пространства и тем самым обеспечивать самые обширные зоны точного измерения траектории.

Математическое обеспечение автоматизации обработки измерительной информации

Возрастание сложности изучаемых объектов и стремительное развитие вычислительной техники требуют пересмотра сложившихся положений теории и практики обработки данных измерений о состоянии объекта с целью получения информации для управления им, в том числе и в процессе эксперимента. На первый план выдвигаются вопросы моделирования, проблема полного и рационального использования измерений при ограниченном количестве натуральных экспериментов, оптимального планирования и выбора условий эксперимента. Решение всего комплекса вопросов предполагает высокую степень автоматизации вычислительного процесса. Задачи оценивания, возникающие здесь, становятся, по существу, многокритериальными. К методам оценивания помимо традиционного требования высокой точности предъявляются требования устойчивости, стабильности и т. д.

В литературе подробно рассматриваются устойчивые адаптивные методы оценивания, основанные на использовании методов регуляризации, даны глубокий сравнительный анализ и изложение некоторых других подходов.

В ряде источников конкретизируются некоторые проблемы автоматизированной обработки экспериментальных данных, подробно излагаются вопросы псевдообращения линейных операторов в гильбертовых пространствах, построенные на базе этого устойчивые методы оценивания и управления структурой измерительным комплексом при существенной неопределенности характера входных сигналов, методы устойчивого оценивания состояния динамических систем при сильно зашумлённых наблюдениях.

Представляют интерес методы, позволяющие устранить расходимость фильтра. Все они, как правило, сводятся к некоторому изменению веса текущих измерений (или, наоборот, прошлых измерений), что приводит к отклонению коэффициента усиления от оптимального. В связи с этим реальный фильтр становится субоптимальным, однако дает устойчивые оценки. Наиболее устойчивые методы увеличения коэффициентов усиления в моменты измерений заключаются в ограничении уменьшения экстраполированной матрицы ковариации заданным уровнем, увеличении дисперсии шума в системе или непосредственно увеличении матрицы коэффициентов усиления. Все эти подходы приводят к субоптимальным фильтрам и могут потребовать применения алгоритмов адаптивной фильтрации для управления сходимостью.

Главным преимуществом методов динамической фильтрации является то, что они не сложны с точки зрения объёма вычислений и реализуемы в реальном времени.

Общие требования к полигонному измерительному комплексу

Для решения задач обеспечения испытаний перспективных средств ВКО на испытательном полигоне должно быть предусмотрено наличие измерительного комплекса, состоящего из:

- системы траекторных измерений;
- системы радиотелеизмерений;
- системы сбора и обработки измерительной информации;
- вычислительно-моделирующего комплекса, имеющего в своём составе вычислительные средства и специальное программное обеспечение, а также средства физического и математического моделирования.

Система траекторных измерений

Система траекторных измерений измерительного комплекса полигона должна решать следующие задачи:

- определение текущих координат и составляющих вектора скорости баллистических ракет-мишеней, противоракет, боевых блоков испытываемых ракетных комплексов и летательных аппаратов (КА), участвующих в облётах информационных средств ВКО;
- определение относительных координат изделий и мишеней, параметров промаха, а также углов наклона траекторий ракет;
- крупномасштабное фотографирование ЛА, скоростная кино- и видеосъёмка характерных событий и явлений;
- определение и регистрация моментов времени характерных событий и явлений.

Система радиотелеизмерений

Желательным требованием к средствам радиотелеизмерений, используемым на полигоне, является унификация наземной приёмно-регистрирующей аппаратуры и наличие в ней встроенных систем контроля качества функционирования.

Система сбора измерительной информации

Система сбора траекторной измерительной информации должна обеспечивать выполнение следующих основных функций:

- автоматизированный сбор в реальном масштабе времени в центр обработки и управления траекторной измерительной информации от радиолокационных, радиотехнических и оптико-электронных измерительных средств;
- доставку в центр обработки и управления результатов работы измерительных средств;
- автоматизированную выдачу траекторных измерений для проведения экспресс-обработки в реальном масштабе времени и из центра обработки и управления в систему обработки траекторных измерений для проведения послеполётной оперативной и полной обработки.

Система обработки измерительной информации

Система обработки траекторной измерительной информации предназначена для проведения оперативной, послеопытной и полной обработки. Целью оперативной обработки является определение основных траекторных параметров, необходимых для оперативной оценки результатов эксперимента. Полная обработка траекторной измерительной информации проводится с целью определения с заданной точностью всех траекторных параметров, необходимых для объективной проверки правильности функционирования испытываемых образцов ВВТ и достоверной оценки их характеристик.

Система обработки телеметрической информации предназначена для проведения послеполётной автоматизированной оперативной и полной обработки телеметрируемых параметров. Режимы обработки телеметрической информации отличаются количеством обрабатываемых телеметрических параметров, сложностью реализуемых при этом алгоритмов (задач) обработки, а также целевым назначением получаемых результатов обработки.

Оперативной обработке подлежат до 30% медленноменяющихся (ММП) и до 20% быстроменяющихся (БМП) параметров. В режиме полной обработки обрабатываются все ММП и БМП, измеряемые в ходе эксперимента.

При оперативной обработке ММП должны решаться следующие основные задачи:

- декоммутация и идентификация ММП;
- привязка значений ММП к стартовому времени;
- учёт индивидуальных калибровочных характеристик станций радиотелеизмерений;
- масштабирование значений ММП (преобразование измеренных сигналов в физические величины);
- нормализация значений ММП (учёт нелинейности тарировочных характеристик телеметрических датчиков);
- допусковой контроль значений ММП.

При полной обработке ММП, кроме перечисленных задач, должны решаться следующие:

- учёт групповых калибровочных характеристик;
- учёт систематических погрешностей телеметрического тракта;
- проверка значений ММП на достоверность и их редактирование (восстановление, сглаживание сбойных и фильтрация аномальных значений, устранение их избыточности);
- сведение в единый информационный массив и совместная обработка одних и тех же ММП, измеренных разными средствами.

При оперативной обработке БМП должны решаться следующие задачи:

- выделение и идентификация БМП;
- проверка значений БМП на достоверность;
- выбор участков статистической обработки БМП.

При полной обработке БМП должны решаться следующие задачи:

- статистическая обработка значений БМП;
- совмещенная обработка с целью определения усреднённых и максимальных значений спектральных составляющих БМП;

- спектральный анализ с целью получения амплитудно-частотных спектров и спектральных плотностей мощности БМП;
- корреляционный анализ (получение корреляционных и взаимокорреляционных функций) БМП.

Результаты оперативной и полной обработки ММП и БМП должны визуально отображаться в процессе обработки, документироваться в текстовом, графическом и табличном виде, запоминаться для длительного хранения.

Функциональное программное обеспечение обработки измерительной информации

Функциональное программное обеспечение (ФПО) обработки измерительной информации представляет собой систему логически и функционально связанных между собой программ, модулей и программных комплексов, предназначенных для преобразования (обработки) различного рода измерительной и служебной информации с целью оценки требуемых параметров движения наблюдаемых летательных аппаратов в заданной системе координат.

Задачи, решаемые ФПО обработки измерительной информации, можно разделить на следующие классы:

- задачи определения эталонных параметров движения объекта и параметров взаимного положения нескольких объектов;
- задачи формирования, отображения и документирования результатов обработки;
- задачи формирования, ведения, обслуживания и поддержки специализированных баз данных обработки;
- задачи расчёта целеуказаний средствам траекторного измерительного комплекса и внешним потребителям;
- вспомогательные задачи, связанные с оценками точностных характеристик измерительных средств, ведением и обработкой статистического материала, а также тестированием элементов ФПО.

В соответствии со сложившейся технологией обработки измерительной информации и функциональными особенностями отдельных её этапов ФПО можно разделить на следующие подсистемы:

- ввода информации в ЭВМ и первичной обработки измерительной информации;
- вторичной обработки измерительной информации;
- анализа, отображения и документирования результатов обработки;
- расчёта целеуказаний;
- обеспечения информационно-справочной подсистемы обработки;
- решения служебных задач.

Для реализации перечисленных задач ФПО обработки измерительной информации должно обеспечивать

- требуемую точность, достоверность и оперативность обработки измерений;
- целостность и надёжность хранения информации;

- открытость и расширяемость ФПО как системы;
- унификацию и стандартизацию информационной базы;
- информационное сопряжение различных систем обработки.

Основным режимом привязки шкал времени приёмных пунктов должен быть режим синхронизации шкал времени по сигналам КНС «ГЛОНАСС».

Автоматизированная система управления экспериментально-испытательной базой испытательного полигона

Одним из основных направлений повышения эффективности натуральных испытаний ВВТ, сокращения их сроков и стоимости является создание автоматизированной системы управления (АСУ) экспериментально-испытательной базой (ЭИБ) полигона.

АСУ ЭИБ полигона предназначена для автоматизации управления средствами ЭИБ (полигонного измерительного и вычислительно-моделирующего комплексов) при подготовке, проведении и обработке результатов испытаний образцов боевого оснащения ракетных комплексов, систем РКО.

АСУ ЭИБ полигона должна обеспечивать выполнение следующих управляющих функций:

- планирование проведения испытательных работ средствами ЭИБ полигона;
- текущее управление средствами ЭИБ полигона при подготовке и обработке результатов экспериментов;
- оперативное управление средствами ЭИБ полигона в ходе проведения экспериментов.

Выполнение первой функции должно осуществляться путём решения следующих задач:

- разработки календарных планов работы средств ЭИБ полигона;
- разработки планов проведения экспериментов (испытательных работ);
- разработки заданий на работу средств ЭИБ полигона;
- доведение результатов планирования до средств ЭИБ полигона.

Литература

1. Гальцов Е.М., Минаев В.Н., Тунгушпаев А.Т. *Методология обоснования задач испытаний и перспектив развития полигонного испытательного комплекса Министерства обороны Российской Федерации: Науч.изд.* – М.: ФГУП «ВИМИ», 2007.
2. Козлов Н.Н., Белов Ю.А. и др. *Математическое обеспечение сложного эксперимента.* – Киев: Наукова думка, 1983.
3. Козлов Н.Н., Иванющенко А.С., Соколюк В.Л. *Методологические основы испытаний сложных систем.* – М.: Технологии информационных систем, 2002.
4. Шаракшанэ А.С., Железнов И.Г. *Сложные системы.* – М.: Высшая школа, 1997.



ЯГОЛЬНИКОВ С.В.,
начальник 2 ЦНИИ Минобороны России, доктор технических наук, профессор

РОЛЬ И МЕСТО 2 ЦНИИ МИНОБОРОНЫ РОССИИ В СОЗДАНИИ И РАЗВИТИИ ВОЗДУШНО-КОСМИЧЕСКОЙ ОБОРОНЫ

Созданный более 75 лет назад 2 ЦНИИ всегда находился на острие научных исследований в области проблем строительства противовоздушной, а с начала 1960-х гг. — и воздушно-космической обороны государства. В годы Великой Отечественной войны сотрудники института (в те годы — Стрелково-тактического комитета) внесли неоценимый вклад в организацию и ведение эффективной противовоздушной обороны стратегических объектов тыла и группировок войск фронтов.

В послевоенные годы происходило бурное развитие противовоздушных (противосамолётных) компонентов Войск ПВО страны. В 1955 г. на вооружение был принят и развёрнут на обороне г. Москвы первый зенитный ракетный комплекс С-25 («Беркут»). Всего за 10 лет, немыслимый по современным меркам срок, были созданы принципиально новые образцы вооружения — зенитные ракетные и радиолокационные комплексы. Истребительная авиация получила современные реактивные истребители, вооруженные ракетами «воздух – воздух». Осуществлялись массовые поставки нового вооружения в войска. Возникли новые рода войск — зенитные ракетные и радиотехнические войска.

Летом 1958 г. в 2 ЦНИИ были созданы специализированные научные управления по исследованию проблем создания и развития вооружения истребительной авиации и зенитных ракетных войск, а также управление по обоснованию предложений в программу вооружения в части средств ПВО (ВКО). За относительно короткое время были приняты на вооружение зенитные ракетные комплексы С-75, С-125, С-200, авиационные ракетные комплексы перехвата Су-9, Су-11, Як-28П, Су-15, Ту-128, МиГ-25, АКРЛДН А-50. Эффективность нового оружия была неоднократно продемонстрирована в ходе локальных войн во Вьетнаме и на Ближнем Востоке.

Наличие в США ядерной бомбы и овладение немецкой ракетной технологией в условиях гонки вооружений привело к созданию в 1953 г. принципиально нового оружия, с невиданными ранее возможностями — межконтинентальной баллистической ракеты (МБР) как средства нанесения ядерных ударов по объектам на территории СССР. Именно с этого времени в нашей стране началось создание и развитие средств и систем ракетно-космической обороны.

Первые проработки принципиальных вопросов ПРО в 2 ЦНИИ осуществлялись в отделе ЗРВ, а конструкторские разработки средств ПРО — в ОКБ-1, давшем стране первую ЗРС «Беркут» (С-25). В конце 1950-х – начале 1960-х гг. в институте были созданы специализированные научные подразделения для исследования проблем противоракетной (1958 г.), противокосмической обороны (1962 г.) и предупреждения о ракетном нападении (1964 г.).

В 1959 г. завершилась работа по эскизному проектированию системы ПРО «А» и начались ее комплексные испытания. В последующие годы велись интенсивные работы по её совершенствованию. В 1995 г. была принята на вооружение система А-135. В 1976 г. была принята в эксплуатацию и поставлена на боевое дежурство система ПРН с РЛС «Днестр» и «Днепр», развёрнутыми по периметру территории СССР на основных ракетоопасных направлениях. В январе 1970 г. встал на боевое дежурство Центр контроля космического пространства (ЦККП). После модернизации в 1978 г. был принят на вооружение комплекс ПКО ИС-М, а с 1 июля 1979 г. он поставлен на боевое дежурство.

Появление на вооружении ведущих в военном отношении стран мира новых типов средств воздушно-космического нападения (СКР, АБР, ГЗЛА, НБР), постепенное превращение воздушно-космического пространства в единую сферу вооружённой борьбы обусловили необходимость дальнейшего совершенствования средств противовоздушной обороны. В 1970–1980-е годы на вооружение были приняты новые многоканальные ЗРС С-300, истребители Су-27, МиГ-29, МиГ-31.

В этот период получили импульс к развитию многие оригинальные направления борьбы со средствами воздушно-космического нападения за счёт комплексного применения средств ПВО и РКО. Данные идеи были частично реализованы в рамках интеграции систем А-135 и С-50. В результате интеграции систем РКО и ПВО закладывалась база для создания воздушно-космической обороны.

На рубеже 1980–1981 гг. в институте начали проводиться основные работы по обоснованию воздушно-космической обороны как системы. Было создано специальное научное управление оперативно-стратегических исследований проблем воздушно-космической обороны и специального математического обеспечения штабов Войск ПВО.

Важнейшими практическими результатами оперативно-стратегических, военно-технических и военно-экономических исследований явилась разработка проекта Концепции построения и развития противовоздушной обороны, который был рассмотрен на Военном совете Войск ПВО, затем на совещании у начальника Генерального штаба ВС СССР. Проект был согласован с ГК ЦК КПСС и СМ СССР по военно-промышленным вопросам, и Концепция одобрена Советом обороны СССР 9 ноября 1988 г.

Комплексные исследования проблем ПВО (ВКО), проведенные в институте в конце 1990-х – начале 2000-х годов, легли в основу Концепции воздушно-космической обороны Российской Федерации, утвержденной Указом Президента РФ от 5 апреля 2006 г. № 2000.

При непосредственном участии института были разработаны и приняты на вооружение целый ряд ЗРС, истребителей-перехватчиков, более 20 типов КСА, более 30 типов РЛС и станций РЭБ, несколько типов самолётов РЛДН, система предупреждения о ракетном нападении,

системы госопознавания и многие другие образцы и системы ВВТ ПВО (ВКО).

За разработку, испытания и внедрение в войска перспективных средств и систем вооружения ПВО (ВКО) институт был награждён орденами Красного Знамени (1968 г.) и Октябрьской Революции, свыше 400 сотрудников получили государственными награды.

Об основных направлениях деятельности института рассказывают его ветераны.

О решении проблемы разработки методологии обоснования перспектив развития системы вооружения и программного планирования вспоминает доктор военных наук профессор И.В. Ерохин:

В июне 1963 г. НТК Генштаба организовал единственную в своём роде специальную конференцию МО по теоретическим методам и критериям оценки боевой эффективности вооружения. Главным докладчиком была Е.С. Вентцель, которая долго и очень много помогала институту. Выступили с докладами также представители видов ВС, Академии наук СССР и её сибирского филиала, Генерального штаба, других военных и гражданских организаций промышленности и науки.

От Войск ПВО страны доклад «Метод обоснования перспектив развития системы вооружения и способов его применения в Войсках ПВО страны» поручили мне. В других докладах обсуждались не масштабные, а более узкие вопросы. На это обратил внимание глава делегации АН СССР на этой конференции вице-президент академик М.А. Лаврентьев, сибирский коллектив которого помог нам «встать на ноги». Подозвав в перерыве заместителя начальника Генштаба В.Д. Иванова, Я.И. Трегуба и меня, он критически заметил, что «в целом военные учёные не блещут методическим уровнем исследований, а масштабность проблемы обороны государства и методы её решения, похоже, понимают только в ПВО», где, на его взгляд, «нащупали перспективный методический путь их решения для себя».

В решении конференции были отмечены как более совершенные подход и методы исследований, применяемые в Войсках ПВО страны для разработки их рациональной системы вооружения.

В начале 1970-х гг. мы перешли на новый метод «долгосрочного перспективного и программного планирования развития вооружения и военной техники» (ВиВТ). Оно было введено постановлением ЦК КПСС и СМ СССР № 433-157-69 г. и приказом министра обороны № 115-70 г. и обязывало смотреть вперёд намного дальше, планируя развитие не только на 5 лет по пятилетним планам, но и на 10 лет по вновь вводимым «Программам вооружения», и на 15 лет – в соответствии с «Основными направлениями развития ВиВТ».

С введением нового метода планирования развития ВиВТ возникли и новое в деятельности НИИ видов ВС. Раньше они только обосновывали перспективы его развития, а их реализацию и заказы планировали



И.В. Ерохин

заказчики ВиВТ. Теперь институты привлекались к активному участию в планировании развития ВиВТ.

После многолетней апробации методологии программно-целевого планирования в 1979 г. постановлением ЦК КПСС и СМ СССР, а затем и приказом министра обороны № 230 от 12 июля 1979 г. было уточнено положение и упорядочены виды планирующих документов по «программно-целевому планированию в Минобороны и в оборонной промышленности».

Для закрепления прав планирующих развитие ВиВТ органов Министерства обороны на руководство подчинёнными видами и родам войск институтами их переименовали в центральные НИИ МО.

На активную деятельность планирующих развитие ВиВТ структур Министерства обороны в НИИ отреагировали его оперативные структуры. В том же 1979 г. последовал приказ министра обороны № 86-79 г. о расширении оперативно-стратегической тематики в НИИ Министерства обороны.

О проблемах развития и боевого применения зенитного ракетного вооружения вспоминает кандидат технических наук В.В. Астрахов:

Созданная к 1955 г. система противовоздушной обороны С-25 прикрывала от авиационных ударов только г. Москву и ближнее Подмосковье. Другие объекты страны по-прежнему защищала ствольная зенитная артиллерия. Стоимость создания современной ПВО важнейших городов и промышленных объектов путём дублирования московской системы обороны была бы весьма высока, что не могла себе позволить страна, ещё не оправившаяся от послевоенной разрухи.

Поэтому еще в 1953 г. была задана в разработку, а 11 декабря 1957 г. принята на вооружение первая перевозимая ЗРС С-75 «Двина» с размещением средств на автомобильном шасси. В развитие данной системы были разработаны и в мае 1959 г. приняты на вооружение ЗРК С-75М «Десна» с повышенной помехозащищённостью, а в апреле 1961 г. — ЗРК С-75В «Волхов» с расширенной зоной поражения по дальности и высоте. Разработка ЗРК типа С-75 осуществлялась в КБ-1 (главный конструктор А.А. Расплетин). В апреле 1961 г. на вооружение был принят и одноканальный ЗРК МД С-125 «Нева» (задан в разработку в мае 1957 г., разработчик — КБ-1, главный конструктор Ю.Н. Фигуровский). Оба ЗРК в массовых количествах стали поступать на оснащение создаваемой комплексной системы ПВО г. Ленинграда и других объектов страны. Наиболее массовым стал ЗРК «Волхов» (выпущено свыше тысячи ЗРК), состоявший на вооружении 20 лет — до поступления на вооружение ЗРК С-300.

С середины 1950-х гг. под руководством главных конструкторов А.А. Расплетина (КБ-1) и С.А. Лавочкина (ОКБ-301) и при непосредственном участии института разрабатывалась ЗРС дальнего действия. ОКБ-301 создавало стационарную систему «Даль», А.А. Расплетин перспективным направлением считал создание передвижных по типу С-75, С-125. В феврале 1967 г. на вооружение была принята ЗРС С-200 разработки КБ-1. Принятие на вооружение первой ЗРС ДД С-200 позволило создавать группировки ЗРВ смешанного состава для эшелонированной противовоздушной обороны важнейших административных и промыш-

ленных центров и районов страны. При этом существенно повышалась помехоустойчивость группировок ПВО в целом.

В период испытаний и после принятия ЗРС С-200 на вооружение сотрудники института принимали активное участие в военно-научном сопровождении разработки ЗРС, разработке программы и методик испытаний, оценке характеристик и помехоустойчивости радиолокационных средств ЗРС, оценке точности наведения ЗУР и эффективности стрельбы, оценке надёжности средств и системы в целом и системы эксплуатации, в разработке правил стрельбы ЗРС и пособия по их изучению, а также рекомендаций по построению группировок ПВО смешанного состава с использованием новой ЗРС. Основными участниками работ от НИИ-2 МО были Н.Н. Федотенков, Е.В. Золотов (руководители), Г.А. Аганин, Ю.Т. Алёхин, И.В. Артемьев, В.В. Астрахов, Ю.П. Афанасьев В.М. Беспрозрачный, Е.Ф. Васильев, С.М. Зверюго, И.Т. Зюзьков, Д.С. Иванов, Н.М. Костогаров, Л.И. Литвин, Ю.И. Любимов, В.П. Малкин, Н.И. Матросов, А.С. Попович, В.К. Скобелин, Л.И. Тимофеев, В.А. Урусов, Е.С. Фридман, Е.С. Цуканов, А.И. Цыбиков, А.А. Шарков.

В интересах создания и испытаний новых ЗРК, выработки принципов построения зенитной ракетной обороны важнейших объектов институтом были разработаны теоретические основы рационального построения группировок ЗРВ, устойчивых в условиях интенсивного радиоэлектронного подавления (Н.Н. Федотенков, Е.В. Золотов, Е.С. Фридман, Е.Ф. Васильев, Л.И. Литвин, И.Д. Толкунов, Ю.С. Леонтьев, Б.И. Голубев).

Для оценки и проверки боевых характеристик ЗРК серии С-75 в ходе боевых действиях во Вьетнаме и Египте в институте была создана постоянно действующая группа. Во Вьетнаме находились специалисты А.А. Абраменко, О.В. Сапоровский, В.К. Скобелин, А.П. Гладышев.

На основе анализа результатов реальных боевых действий были разработаны и внедрены:

- метод наведения ЗУР на постановщики активных шумовых помех, не требующий дальности до цели;
- метод «трёх точек»;
- корреляционный способ идентификации шумовых полос;
- подсвет лучом СНР местных предметов;
- скачок частоты при наведении ЗУР на конечном участке траектории;
- специальные вынесенные передатчики для отвлечения ПРР от станций управления огнём зенитных ракетных комплексов.

В середине 1960-х гг. в результате критического анализа военным руководством США опыта боевого применения авиации во Вьетнаме в условиях противоборства с зенитными ракетными комплексами С-75, С-125 долгосрочные программы создания перспективных СВН приобрели новое качество. В это же время в ходе многочисленных учений США и НАТО совершенствовались и отработывались новые способы и тактические приёмы прорыва мощной ПВО.

Анализ, проведенный специалистами института, показал, что существующие ЗРС и их возможные модернизации не способны эффективно бороться с перспективными СВН, был сделан вывод о необходимости задания в разработку принципиально новой ЗРС.

Вопрос создания ЗРС нового поколения решался на уровне правительства. Ввиду общности угрозы новых типов СВН для трёх видов ВС

СССР — Войск ПВО, Сухопутных войск и Военно-морского флота — было принято решение о создании единой унифицированной ЗРС. Поэтому начальная разработка системы была задана на конкурсной основе двум наиболее известным фирмам — разработчикам зенитного ракетного вооружения — МКБ «Стрела» (прежде КБ-1), генеральный конструктор Б.В. Бункин, и НИЭМИ, генеральный конструктор В.П. Ефремов.

В 1969 г. эскизное проектирование новой ЗРС обеими фирмами было завершено, и результаты представлены в специальную комиссию, возглавляемую министром обороны.

ЗРС, разработанная МКБ «Стрела», имела существенно большие возможности работы по малозаметным целям на малых и предельно малых высотах, а также была более приспособленной к несению длительного боевого дежурства.

ЗРС для Сухопутных войск имела большие возможности работы по баллистическим целям. В связи с дополнительным заданием командованием ГРАУ на ЗРС СВ возможностей поражения американских ОТБР типа «Першинг-1А», размещаемых в то время на территории Западной Европы, для сухопутной ЗРС были разработаны ЗУР большой энерговооружённости. При этом ракеты и пусковые установки имели более высокие массогабаритные характеристики.

После многочисленных заседаний комиссии не удалось однозначно выявить победителя конкурса в проектировании ЗРС. Поэтому было принято решение о дальнейшей разработке обоих вариантов ЗРС, но с чёткой специализацией:

- ЗРС С-300П — преимущественно борьба с аэродинамическими целями в условиях интенсивного радиопротиводействия и, в частности, с СКР, летящими на предельно малых высотах для территории ПВО;
- ЗРС С-300В — преимущественно борьба с баллистическими и азробаллистическими целями для войсковой ПВО.

Главным разработчиком по ЗРС С-300П было определено НПО «Алмаз», по ракетам — МКБ «Факел».

Система С-300П была разработана в двух исполнениях: транспортно-контейнерном и самоходном. С 1970 г. на полигоне Сарышаган началась отработка ЗУР системы С-300П, а с 1973 г. — наземных средств системы в контейнерном исполнении. В 1974–1975 гг. опытные образцы средств поставлялись на предварительные (заводские) испытания.

В 1979 г. ЗРС С-300ПТ контейнерного исполнения была принята на вооружение только с ракетой с командным управлением В-500К. ЗРС обеспечивала одновременный обстрел до 6 целей, дальность стрельбы — от 8 до 50 км, высоту поражаемых целей — от 25 м до 25 км при их скорости от 30 до 1200 м/с.

В 1981 г. были завершены испытания и принята на вооружение система С-300ПТ1 с ракетой В-500Р, обеспечивающей бинарное командное управление ракетой — обычное командное наведение по информации от РПН и командное наведение по данным бортового радиопеленгатора целей ЗУР. При этом вывод ЗУР в район цели осуществлялся по данным более высокопотенциального РПН, а наведение ЗУР на конечном участке траектории — по информации БРП, обеспечивающего более высокую точность в дальней области зоны поражения. ЗРС обе-

спечивала увеличение дальности стрельбы ракетой В-500Р до 75 км и высоты до 27 км.

В разработке методического обеспечения испытаний, проведении натуральных экспериментов, анализе их результатов и оценке их соответствия требованиям ТТЗ принимали участие: А.С. Попович, Ю.Н. Агишевский, Ю.Т. Алёхин, В.В. Астрахов, Ю.П. Афанасьев, Б.Г. Гуцин, Д.С. Иванов, Р.Н. Корецкий, В.П. Малкин, В.Ф. Маслов, В.Н. Молев, С.П. Сидоров

Серийное производство новой ЗРС начали уже в 1975 г., не ожидая конца испытаний. Такой порядок позволял к принятию системы на вооружение без промедлений обеспечить её бесперебойную поставку в войска.

Совместные испытания заданного решением ВПК от 25.07.1975 г. № 191 самоходного варианта ЗРС С-300ПС начались на полигоне Сары-Шаган с 1978 г. Комиссией по испытаниям руководил командующий ЗРВ ВПВО генерал-полковник Хюпенен А.И., техническое руководство неизменно осуществлял Б.В. Бункин. В состав комиссии входили от НИИ-2 МО А.С. Попович и В.В. Астрахов.

Испытания системы С-300ПС были завершены в 1981 г., а в 1983 г. она была принята на вооружение. Войска впервые получили высококомбинированную зенитную ракетную систему средней дальности, позволяющую, наконец, реализовать разработанные ещё в 1950–1960-е гг. тактические приёмы мобильных боевых действий. К этому времени система С-300П существовала уже в трёх модификациях: С-300ПТ, С-300ПТ1, С-300ПС.

О проблемах развития вооружения и боевого применения авиации ПВО вспоминает кандидат технических наук Г.Я. Колпаков:

В 1970–1980-х гг. авиация ПВО развивалась в направлении обеспечения перехвата целей на дальних (вынесенных) рубежах, особенно на северо-западном и северном воздушно-космическом направлениях. Была задана в разработку авиационная система дальнего перехвата (АСДП) «Щит». В 1986 г. под руководством командующего авиацией ПВО генерал-полковника авиации В.И. Андреева было проведено масштабное опытно-исследовательское учение «Арктика-86» с целью оценки выполнения требований, предъявленных к АСДП «Щит».

Планировались посадка смешанной пары истребителей МиГ-31 и Су-27 на ледовый аэродром Грезм-Бэлл и перехват условных целей, летевших с Севера, при управлении с борта АК РЛДН А-50. Были привлечены 2 АК РЛДН А-50, смешанное звено МиГ-31 и Су-27, КП АСДП «Щит», топливозаправщик, средства РТВ и АСУ. При проведении учений все поставленные задачи были выполнены. Впервые под управлением АК РЛДН А-50 была выполнена дозаправка одновременно пары разнотипных истребителей МиГ-31 и Су-27 в районе Маточкин Шар (о. Новая Земля), наведение истребителей на условные цели в автоматическом режиме управления, контроль и управление всеми воздушными средствами над акваторией Баренцева моря. Военно-научное сопровождение от института осуществляли Г.Я. Колпаков (руководитель исследовательской группы), А.Е. Бондаренко, С.А. Зимов, Л.А. Зубаков, В.Г. Кравчук, А.А. Линник, В.В. Слюняев.

Во время учения имел место поучительный эпизод. Летчик истребителя Су-27 ст. лейтенант Цымбал, препятствуя попытке самолёта-разведчика «Орион» войти в воздушное пространство СССР, энергичными действиями, вплоть до касания самолётов, вынудил потенциального нарушителя покинуть наше воздушное пространство.

Пролёт в августе 1987 г. немецкого лётчика М. Руста на самолёте «Цессна» и посадка его в центре Москвы (на Москворецком мосту около Кремля) был шокирующим фактом как для Войск ПВО, так и для страны в целом. В институте и в Главном штабе Войск ПВО был уточнен маршрут его полёта и проанализирована работа средств РТВ, ЗРВ и ИА ПВО по нарушителю границы. На основании результатов этой работы было принято решение о проведении на полигоне Сары-Шаган экспериментов по обнаружению и сопровождению малоразмерных малоскоростных низколетящих ЛА и перехвату их средствами ИА ПВО. Полученные таким образом исходные данные, в том числе приблизительные данные по высотам и дальности, были положены в основу разработки рекомендаций по реальному перехвату самолёта-нарушителя. Программа демонстрационного полёта была подготовлена сотрудниками авиационного управления нашего института и согласована с командующим авиацией ПВО и генеральным конструктором ОКБ им. П.О. Сухого М.П. Симоновым.

Лётные эксперименты состоялись в августе 1987 г. на полигоне Сары-Шаган, где в качестве ММН ЛА были привлечены спортивные самолёты Як-52 Алма-Атинского клуба ДОСААФ. Участниками эксперимента на полигоне Сары-Шаган были Г.Я. Колпаков (руководитель исследовательской группы), А.П. Бондаренко, В.Е. Грохольский, А.В. Новоселов, П.Н. Ткачев. В качестве истребителей, перед которыми ставились задачи перехвата и имитация принуждения к посадке самолёта с целью предотвращения его угона, использовались истребители Су-27. Результаты экспериментов показали, что истребители Су-27 надёжно обеспечивают уничтожение такого класса целей при визуальном контакте с применением пушечного вооружения и принуждение к посадке при предупредительной стрельбе и других воздействиях непосредственно по планеру.

Отрадно отметить, что в 2008 г. ряд сотрудников авиационного управления института прошли курс подготовки (как задел для будущих опытно-исследовательских учений) к работе в качестве членов штатного экипажа РТК АК РЛДН А-50У. Среди них: О.Г. Столяров — начальник РТК, А.И. Приступюк — штурман наведения, А.В. Алексеев и А.Н. Горкавчук — операторы средств связи, А.В. Мирошниченко — оператор РЛС, А.В. Мазуркин — бортиженер РТК.

Принимая участие в военно-научном обеспечении испытаний образцов вооружения авиации ПВО, сотрудники управления общались с лётным составом, наземными расчётами КП и ПН, вспомогательными службами и разработчиками вооружения, приобретая опыт практической работы, особенно в интересах войск.

О проблемах развития радиолокационного вооружения ПВО вспоминает доктор технических наук профессор О.В. Пушков:

В начале 1960-х гг. по заказам ГРАУ и 4 ГУ МО были заданы в разработку радиолокационные высотометры (ПРВ-10, ПРВ-11), которые предназначались для совместной работы с различными дальномерами; были созданы первый радиолокационный комплекс П-80 и первая трёхкоординатная РЛС П-90 с парциальными лучами.

Научный отдел, предназначенный для исследования проблем военной радиолокации, был создан в институте в 1957 г. До середины 1960-х гг. отдел выполнял научно-исследовательские работы по заказам НТК Войск ПВО и управления РТВ. В 1965 г. он был преобразован в отдел радиолокационных средств и электромагнитной совместимости (начальник полковник Голубович Ю.Г.) и вошёл в созданное в институте научное управление радиолокационного вооружения РТВ Войск ПВО (начальник полковник Конторов Д.С.).

Военно-научное сопровождение ОКР по созданию образцов радиолокационной техники, заказываемых 4 ГУ МО, начало осуществляться с середины 1960-х гг.

Во второй половине 1960-х гг. по ТТЗ, разработанному специалистами института и 6 управления ГУ МО, была задана разработка помехозащищённого радиолокационного комплекса 5Н87 на замену комплекса П-80(А). В это же время по тактико-техническим заданиям, разработанным специалистами института (Д.С. Конторов, С.П. Матвеев, О.В. Пушкин) и 6 управления ГУ МО, были заданы в разработку трёхкоординатные РЛС средних и больших высот 5Н88 и 5Н69.

В 1950–1960-х гг. для обнаружения низколетящих целей применялась маловысотная станция П-15. Однако при её использовании со штатной антенной дальность обнаружения низколетящих целей была недостаточной. В связи с этим в 1960-х гг. институтом был проведен комплекс исследований для решения данной проблемы, в том числе путём размещения РЛС на телевизионных вышках и специальных стометровых опорах.

Одновременно в институте был проработан вопрос о возможности размещения маловысотных РЛС на привязных аэростатах с высотой подъёма до 3000 м. Ввиду отсутствия в стране достаточного количества гелия и прочных материалов для оболочек аэростатов от задания в разработку радиолокационной станции аэростатного базирования в 1960-х гг. пришлось отказаться. Решением начальника 4 ГУ МО генерал-полковника авиации Г.Ф. Байдукова вместо аэростатного комплекса «Перископ-А» был задан в разработку комплекс «Перископ-Г» для установки на высокогорных позициях.

Для оснащения позиций радиотехнических подразделений в труднодоступных районах (на побережье Северного Ледовитого океана, в пустынях Средней Азии) по заданию 6 управления Главка был разработан автоматизированный радиолокационно-связной комплекс П-96.

В этот же период времени для обнаружения низколетящих целей в широком диапазоне условий был сформирован и стал развиваться класс маловысотных радиолокационных станций. По тактико-техническим заданиям, разработанным специалистами НИИ-2 ПВО (С.П. Матвеев, О.В. Пушкин, Ю.Г. Власенко) и 4 ГУ МО, были заданы ОКР по разработке помехозащищённых трёхкоординатных маловысотных РЛС 5Н59, 19Ж6.

Проведенные исследования показали, что проблему помехоустойчивости информационной системы необходимо решать как системными методами, так и повышением индивидуальной помехозащищённости радиолокационных станций. В качестве системной меры, поддержанной 4 ГУ МО, было предложено совместное применение в радиотехнических батальонах радиолокационных станций кругового обзора и специальных радиолокационных станций программного обзора, а также использова-

ние триангуляционного метода обнаружения и проводки постановщиков шумовой помехи по их пеленгам, полученным от трёх разнесенных соседних радиотехнических подразделений.

Для реализации указанной идеи в 1960-х гг. по тактико-техническому заданию, разработанному специалистами института (С.П. Матвеев, В.В. Замараев) и Главка, была задана в разработку специальная радиолокационная станция программного обзора 5Н56М1 с электромеханическим сканированием луча в секторе 4×4 градуса.

В результате выполненных в институте исследований была показана возможность использования в радиолокационной системе малобазовых разнесённых комплексов пассивной локации с корреляционной обработкой сигналов шумовой помехи. Специалистами института (В.И. Дельнов, Г.Н. Шуркин) и Главка были разработаны тактико-технические задания на ОКР «База» и «База-67» по созданию корреляционно-базовых комплексов пассивной локации постановщиков шумовой помехи в различных диапазонах волн. Однако из-за недостаточных уровней развития элементной базы и вычислительной техники в тот период и, как следствие, неудовлетворительных технических решений, принятых разработчиками в процессе проектирования указанных комплексов, ОКР были прекращены.

Для повышения индивидуальной помехозащищённости радиолокационных станций от шумовой помехи в этот период специалистами НИИ-2 ПВО (О.В. Пушков, А.Е. Андреев) совместно с Вирта ПВО (г. Харьков) были разработаны предложения по внедрению многоканальных автокомпенсаторов в РЛС боевого режима всех типов, что учитывалось в ТТЗ, разрабатываемых специалистами института и 4 ГУ МО.

Важным направлением исследований являлось внедрение методов автоматизации съёма данных с выхода радиолокационных станций.

На следующем этапе исследований в период 1971–1980 гг. были учтены новые тенденции в развитии средств воздушного нападения США и стран НАТО и в совершенствовании огневых комплексов зенитных ракетных войск и истребительной авиации Войск ПВО. На основе опыта локальных войн на Ближнем Востоке и во Вьетнаме появились новые тактические приёмы и технические возможности преодоления противовоздушной обороны и борьбы со средствами воздушного нападения.

В соответствии с проработками, проведенными в институте, было показано, что для обеспечения достаточного уровня устойчивости к радиопротиводействию радиолокационное поле, создаваемое на средних и больших высотах, должно базироваться на использовании радиолокационных станций, работающих не менее чем в трёх диапазонах волн. Поэтому в дополнение к уже ведущимся ОКР по созданию трёхкоординатных радиолокационных станций 5Н88 и 5Н69, работавших в двух различных диапазонах волн, по тактико-техническому заданию, разработанному специалистами института (Б.С. Панкратов, В.И. Зеленец) и Главка, была задана в разработку трёхкоординатная РЛС 22Ж6М в третьем диапазоне.

В период до 1972 г. по заказам 4 ГУ МО при участии специалистов НИИ-2 ПВО на вооружение были приняты:

- радиовысотомеры ПРВ-13, ПРВ-16;
- дальномёры П-70, П-37, П-18, радиолокационный комплекс П-80А;

- РЛС программного обзора 5Н56М1;
- автоматизированный радиолокационно-связной комплекс П-96.

Принятые на вооружение в период 1957–1972 гг. образцы радиолокационных станций поступили в войска и в полной мере удовлетворили их потребности в радиолокационной технике. Она успешно противостояла средствам воздушного нападения вероятного противника того времени при несении боевого дежурства и обеспечении действий сил и средств ПВО по нарушителям государственной границы.

Представление о состоянии работ института в области ракетно-космической обороны (РКО) в период 1960–1970-х гг. дано в воспоминаниях бывшего командующего ПРО и ПКО генерал-полковника Ю.В. Вотинцева, который по заданию Главкомандующего войсками ПВО страны генерала армии П.Ф. Батицкого познакомился с институтом. Фрагмент этих воспоминаний представлен ниже.

Главкомандующий войсками ПВО страны генерал армии П.Ф. Батицкий сообщил, что меня хотят назначить командующим РКО. С 26 мая 1967 г. я приступил к выполнению плана-графика ознакомления с фактическим состоянием работ в НИИ, организациях промышленности, на создаваемых головных объектах ПРО, СПРН, ККП и ПКО. С этой целью я выехал в Калинин, во 2 НИКИ – головной в Войсках ПВО страны. Его начальник, генерал-лейтенант Б.А. Королёв рассказал, что институт является головной организацией в стране по оценке состояния и перспективам развития вооружения вероятных противников, по разработке боевых алгоритмов для СПРН. Разрабатывает исходные данные для систем вооружения, проекты ТЗ на создание комплексов, систем вооружения, их оперативное построение и боевое применение. Наряду с управлениями, решающими задачи противовоздушной обороны, уже были созданы управления ПРО во главе с П.В. Порожняковым, ПКО – во главе с Ю.И. Любимовым, формировалось управление СПРН под началом с Е.С. Сиротина.

Кроме начальников управлений, со мной занимались выдающиеся учёные: В.Ф. Иванов, О.П. Сидоров, С.И. Гущин, В.Н. Журавлёв. Уяснил, что в течение последних лет коллективом института совместно с организациями промышленности был выполнен большой объём целенаправленных исследований, теоретических обоснований, которые обусловили возможность развёртывания системы ПРО А-35 согласно проекту. Имеются серьёзные проблемы с головным комплексом СПРН из-за интенсивного влияния авроральных помех на РЛС, особенно дислоцированных в Заполярье, в меньшей степени – в Риге. Ещё в 1962–1963 гг. Институтом геофизики на Кольском полуострове (п. Ловозеро) была создана специальная лаборатория для изучения характеристик авроральных помех. В этих же целях решением Главкома были привлечены РЛС РТВ различного диапазона, дислоцированные на территории от Кольского полуострова до Чукотки. Полученный статистический материал, разработанные меры дали многое, но не гарантировали исключения форми-



Ю.В. Вотинцев

рования головным узлом в Мурманске ложных тревог. С существенным отставанием от головных узлов создавался КП СПРН в Солнечногорске. По системе ККП требовалось ускоренно ввести первую очередь ЦККП.

О начале работы института по космической тематике вспоминает заместитель начальника авиационного управления, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, полковник в отставке Л.М. Степанов:



Л.М. Степанов

Идея о работах по космической тематике принадлежит О.А. Чембровскому. Заместитель начальника института по НИР Я.И. Трегуб, хотя и относился дружески к Олегу Александровичу, в том, что касается космоса, занимал весьма сдержанную позицию, а иногда даже шутил по поводу его фантастических идей. Видя это, Олег Александрович пригласил в институт Сергея Никитовича Хрущева — заместителя начальника отдела КБ В.Н. Челомея. Встреча прошла в доброжелательной обстановке, но Яков Исаевич продолжал довольно недоверчиво относиться к увлечениям Олега Александровича.

Через 2 дня я получил от Якова Исаевича команду подготовить все плакаты по обоснованию развития системы вооружения ПВО. На Старой площади, возле здания ЦК КПСС, Яков Исаевич оставил меня и сказал, что скоро даст команду, куда доставить плакаты. После долгого ожидания я, наконец, увидел Якова Исаевича, выходящего из парадного подъезда, мрачного и с поникшей головой. Он подошёл к машине и сказал только: «Назад, в Калинин». Полдороги мы ехали молча, а потом где-то под Клином Яков Исаевич повернулся ко мне и произнёс: «Теперь я понял, как всё это делается...». Больше я ничего от него не услышал. Позже я узнал, что он был вызван к начальнику военного отдела ЦК И.Д. Сербину, получил строгое внушение из-за непонимания важности создания космических средств вооружения и грозное указание — либо немедленно перестраиваетесь, либо будете лишены должности.

Вот с этих дней и началась в институте бурная научная деятельность, связанная с космической тематикой. В апреле 1962 г. было создано управление ПКО, начальником которого назначили О.А. Чембровского. В последующем начальниками управления ПКО были назначены полковники Ю.И. Любимов (1966–1972 гг.) и С.И. Гушин (1972–1980 гг.).



О.А. Чембровский

Об учёных института — создателях концепции и технических решений ПКО и СККП вспоминает начальник управления ПКО (1962–1966 гг.), доктор технических наук, профессор О.А. Чембровский:

В конце 1959 г. при управлении истребительной авиации НИИ-2 МО, которым я имел честь тог-

да командовать, был создан отдел ПКО, начальником которого был назначен полковник И.П. Сперанский. Для широкого изучения и выработки требований к ПКО и СККП в НИИ-2 МО было сформировано управление ПКО, командование которым было поручено мне. При взаимодействии с другими подразделениями института, руководимыми такими учёными, как Д.С. Конторов, В.Н. Журавлев, П.В. Порожняков, сотрудники управления Г.В. Самойлович, Г.М. Левковцев, М.Н. Бурдаев, А.А. Николаев и другие сформировали определенные позиции концепции развития ПКО, ПРО и СККП.

В конце 1960 г. в НИИ-2 МО прибыла представительная делегация во главе с заместителем руководителя одного из отделов КБ В.Н. Челомя С.Н. Хрущевым. В числе членов делегации был и будущий генеральный конструктор системы ПКО А.И. Савин.

С.Н. Хрущев предоставил слово А.И. Савину, который кратко изложил суть идеи нового перехватчика ИС. В этом комплексе предусматривалось выведение перехватчика в плоскость орбиты перехватываемого спутника, последующее их сближение при дальнем наведении, а затем самонаведение перехватчика на близком расстоянии.

Для успешного перехвата цели необходимо было обработать параметры полёта цели за 16 витков. Когда С.Н. Хрущев предоставил слово мне для оценки предложения, моя критика была обращена на недопустимость столь длительного по времени накопления информации об эфемеридах. Мое замечание было принято.

Мы предложили вместе с членами делегации слетать на полигон, чтобы, во-первых, познакомиться с техникой в действии на реальном перехвате головки баллистической ракеты, во-вторых, продемонстрировать технологию обнаружения реальных спутников и, в-третьих, обсудить некоторые предложения по формированию на базе системы предупреждения ПРО системы контроля космического пространства.

Такая поездка состоялась во главе с начальником 4 Главного управления Г.Ф. Байдуковым, при участии генеральных конструкторов В.Н. Челомя, А.Л. Минца, Г.В. Кисунько и др. Результатом её стало постановление ЦК КПСС и СМ СССР о начале работ по системе ИС и СККП.

Наравне с НИИ-2 МО в системе ПВО страны был развернут институт СНИИ-45 МО, который возглавил работы в МО по СККП. Крупные учёные данного института И.М. Пенчуков, М.Д. Кислик, А.Л. Горелик, А.Д. Курланов, Б.Е. Белоцерковский и др., взаимодействуя с НИИ-2 МО, помогли в сравнительно короткий срок создать эффективные системы ПКО и СККП.

В декабре 1962 г. под научным руководством О.А. Чембровского был выпущен первый отчёт по космической тематике, в котором, помимо разработки способов боевого применения комплекса «ИС», были исследованы возможности создания перспективных комплексов ПКО. Там же были показаны необходимость и возможность создания космических средств предупреждения о ракетном нападении. На этапе до 1980 г. институтом был разработан программно-методический аппарат обеспечения исследований комплекса ИС, уточнены программы вооружения ПКО, разработаны проекты руководств по боевому применению комплекса ИС. По инициативе института были обоснованы перспективы создания космических средств борьбы с высокоорбитальными КА-

целями, а также космических средств с оружием на новых физических принципах. С помощью научно-методического аппарата института была оценена эффективность комплекса ИС в ходе ЛКИ.

С 1980 г. проведение исследований по проблемам развития средств и систем ПКО в Министерстве обороны было возложено на 45 СНИИ МО. В 1993 г. комплекс ИС-М был снят с вооружения.

О концептуальных положениях построения СПРН, разработанных институтом, вспоминает Е.С. Сиротинин, начальник управления СПРН, доктор технических наук, профессор, генерал-майор в отставке:



Е.С. Сиротинин

В соответствии с постановлением СМ и ЦК КПСС от 1962 г. министром обороны СССР была задана комплексная НИР (шифр «Тревога»), к выполнению которой привлекались практически все головные институты и некоторые вузы видов Вооруженных сил. Головной организацией был назначен НИИ-2 МО со сроком выполнения работы в конце 1963 г.

Руководителем темы НИР «Тревога» был назначен генерал-майор Я.И. Трегуб, его заместителем — полковник В.Н. Журавлёв, а ответственным исполнителем — Е.С. Сиротинин. Основной задачей темы КНИР было обоснование направлений создания системы предупреждения о ракетном и авиационном нападении. В результате выполнения

КНИР «Тревога» были показаны:

- целесообразность разделения системы предупреждения о ракетном и авиационном нападении на две составляющие: предупреждение об авиационном нападении должно осуществляться Радиотехническими войсками ПВО, частями радиоразведки, а для предупреждения о ракетном нападении должна создаваться специальная система;

- состав системы предупреждения о ракетном нападении (радиолокационные станции надгоризонтного обнаружения, станции загоризонтного обнаружения стартов БР и космические средства обнаружения);

- ограниченные возможности РЛС 5Н15 для решения задач предупреждения и необходимость ее модернизации;



А.Н. Катулев

- возможные характеристики информации предупреждения, при этом особое внимание было обращено на её временные и достоверностные характеристики;

- принципы боевой работы, главным из которых был принцип полной автоматизации боевой работы системы.

О разработке теории, методов и алгоритмов автоматического функционирования в реальном масштабе времени верхнего звена сложной информационно-измерительной системы вспоминает А.Н. Катулев, доктор технических наук, профессор, капитан первого ранга в отставке:

В 1970-е гг. в институте был создан уникальный лабораторно-моделирующий комплекс верхнего звена для экспериментальной оценки показателей качества компьютерного решения задач обработки разнородной информации и задач, решаемых лицами боевого расчёта в различных условиях оперативной обстановки.

Детальная разработка алгоритмов требовала глубоких оперативно-тактических знаний о боевом применении СПРН, а также знаний системного анализа, оптимизации и принятия решений в условиях неопределенности.

Таковыми знаниями наши сотрудники овладевали непосредственно при выполнении работ как в стенах своего института, так и во взаимодействии со специалистами главного конструктора и офицерами КП СПРН. В этой ситуации очень ярко проявлялись способности каждого сотрудника, особенно заметны они были у А.А. Рахманова, который прибыл в институт после окончания МВИЗРУ. Он активно включился в вычислительный эксперимент по исследованию алгоритмов оценки контролируемой обстановки в целом, хотя в МВИЗРУ специализировался по другому виду военной техники. Идеологическим стержнем его работ стала система формирования особых признаков по обнаруживаемым средствами системы объектам. Теоретические основы и экспериментальные результаты такого аспекта работ были развиты им в кандидатской диссертации.

В связи с передачей тематики исследований института в области РКО А.А. Рахманов был переведен в другой НИИ и вскоре стал известным ведущим учёным, доктором наук и руководителем государственного значения в области обеспечения национальной безопасности России.

О работах института в области космической СПРН вспоминает В.Н. Сергеевич, начальник отдела, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, полковник в отставке:

К участию в работах по созданию системы УС-К (оперативно-тактическое обоснование и проект ТТТ) институт приступил сразу после принятия постановления от 30 декабря 1961 г. Первый вариант построения УС-К — сеть из низкоорбитальных КА и КП на Новой Земле — не был удачным. Длительная проработка вопросов, связанных с оценкой величины ИК-излучения факелов БР и возможностью реализации аппаратуры обнаружения, позволили обосновать к 1968 г. возможность реализации системы с сетью КА на высоких орбитах и КП вблизи Москвы (Л.И. Безбородко, З.С. Вальшенок, В.Т. Желата, Ю.И. Любимов, В.Ф. Сафиулин, В.Н. Сергеевич, Э.А. Старцев, Г.С. Стельмах) при дальностях обнаружения стартующих БР над горизонтом Земли в 40 000 км. Это вызывало сомнение у некоторой части командования.

Однако успешно проведенный в 1969 г. под руководством межведомственной оперативной группы (председатель — начальник НИИ-2 МО Б.А. Королев) комплексный эксперимент «Свинец» по измерениям



В.Н. Сергеевич

ИК-излучения факелов БР, фона Земли и её ореола с борта «Союза-6» (космонавты Г.С. Шонин и В.Н. Кубасов), предлагавшийся институтом с 1963 г. (О.А. Чембровский, Л.И. Безбородко), показал, что сила излучения факелов I степени в несколько раз больше, чем ожидалось, что позволило более обоснованно оценить возможности обнаружения стартов БР на фоне Земли.

В 1977 г. с участием института был разработан эскизный проект развития УС-К в систему контроля ракетопасных районов земного шара (УС-КМО) при обнаружении стартов БР на фоне Земли.

С началом испытаний УС-К (1971 г.), в которых институт принимал активное участие, основное внимание уделялось оценке обнаружительных возможностей предлагаемых промышленностью вариантов бортовой аппаратуры и подготовке нормативных документов по характеристикам излучения БР и фонов, на основе которых разрабатывались аппаратура обнаружения и боевые алгоритмы. Всего в испытаниях УС-К и их научном обеспечении было задействовано несколько десятков сотрудников института, которые руководили подкомиссиями и рабочими группами госкомиссии по испытаниям (Ю.И. Любимов, С.И. Гуцин, В.Н. Сергеевич, З.С. Вальшонок, Б.Л. Загоруля, В.И. Москаль, В.Б. Васильев, В.И. Ярошевский и др.). Поставленная 30 декабря 1982 г. на боевое дежурство система УС-К выполняла задачи в соответствии с руководствами и инструкциями, разработанными НИИ-2 МО или с его участием.

Уже после передачи тематики СПРН в СНИИ-45 сотрудники института привлекались командованием к участию в испытаниях БАО УС-КМО (Б.В. Васильев, М.П. Ковальчук, Л.Ф. Шевченко). Значительная работа была проделана институтом в последние годы по обоснованию требований к системе в части расширения её информационных задач, исходя из современного состояния и прогноза развития нестратегического ракетного вооружения зарубежных государств (В.И. Ярошевский, И.С. Блинов, В.А. Белкин, С.Б. Стуков, В.Б. Васильев).

О работах института при проведении испытаний РЛС СПРН вспоминает В.В. Замараев, заместитель начальника управления СПРН, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, полковник в отставке:

При проведении испытаний СПРН позиция института состояла в получении объективных характеристик системы с тем, чтобы иметь возможность анализировать возможности боевого применения. Позиция, которую обычно отстаивали СНИИ-45, ГУВ и конструктор, подразумевала строгое следование программе и утверждённым методикам испытаний.



В.В. Замараев

Так, на испытаниях РЛС 5Н86 появилась идея оценить информационные потери РЛС из-за воздействия авроральных помех. Такие испытания не были предусмотрены программой испытаний и соответственно отсутствовали методики таких испытаний. Официальные лица, в том числе и главный конструктор, на этом основании были против таких испытаний. Поэтому мы собрали часть рабочей группы и, разработав методику проведения испы-

таний, провели набор необходимой статистики вручную. Когда наутро мы показали результаты главному конструктору, он срочно собрал группу, утвердил на ней методику и провёл испытания.

На испытаниях РЛС 5Н32 некоторые оценки боевых возможностей РЛС, заложенные в ТТТ, оценивались с помощью КИМС. Для проведения таких испытаний в КИМС вводились расчётные затухания на трассе обнаружения. Методика предусматривала корректировку расчётных затуханий по результатам обнаружения реальных пусков. Методика расчёта поправок к первоначально введённым затуханиям оказалась, мягко говоря, некорректной. Я предложил методику расчёта поправок на основании расчёта доверительных интервалов. Получаемые с помощью этой методики поправки существенно отличались от поправок, предлагаемых 45 СНИИ, но в конечном итоге наши предложения были приняты комиссией.

О работе института в области ПРО вспоминает Н.Д. Дроздов., заместитель начальника 5 управления, кандидат технических наук, полковник в отставке:

Базируясь на результатах испытаний экспериментального комплекса ПРО — системы «А», было принято постановление ЦК КПСС и СМ СССР о строительстве ПРО главного объекта (г. Москвы) — системы «А-35». При подготовке постановления и ТТЗ на «А-35» научные организации МО не привлекались.

Система «А» была спроектирована для перехвата БР, в составе которой была, кроме корпуса, только одна боеголовка. Координаты боеголовки и наводимой на неё противоракеты (ПР) определялись с помощью радиодальномеров. Точность определения координат позволяла, по мнению Г.В. Кисунько, использовать противоракеты с осколочной боевой частью. Ко времени начала работ по системе «А-35» противник разработал сложную баллистическую цель (СБЦ), состоящую из корпуса, нескольких боеголовок, тяжёлых и лёгких ложных целей, передатчиков активных помех. Перехватывать СБЦ с использованием информации от радиодальномеров — дело безнадёжное. После нескольких лет работы над созданием системы Г.В. Кисунько отказался от радиодальномеров и констатировал необходимость применения противоракет со спецзарядом.

Промышленные организации стремились получить такие ТТЗ на создание средств ПРО, которые могли бы быть выполнены при использовании уже имеющегося задела. Министерству обороны была нужна ПРО для перехвата СБЦ вероятного противника. В своей работе по обоснованию перспективных направлений развития ПРО я пришел к следующим выводам.

Система «А-35» не имеет перспективы в качестве системы ПРО г. Москвы. Для создания системы, обладающей реальными возможностями борьбы с перспективными БР необходимо перейти к радиолокаторам с ФАР. РЛС ДО системы «А-35» и РЛС СПРН необходимо объединить



Н.Д. Дроздов

в единую систему раннего предупреждения. При уточнении ТТЗ на систему ПРО мы должны четко уяснить, от какой атаки БР противника мы будем защищаться.

Позиция института относительно дальнейших перспектив развития системы ПРО была поддержана руководством Войск ПВО. Предложения Г.В. Кисунько о глубокой модернизации системы «А-35» были отменены.

В середине 1970-х гг. состоялось собрание представителей всех организаций для согласования исходных данных. Как председатель собрания я поставил вопрос: «Должны ли быть в исходных данных записаны характеристики перспективных БР вероятного противника или же характеристики БР, соответствующие возможностям их перехвата проектируемыми средствами ПРО?» Мнения разделились, представители ОКБ-30 и КБ-1 настаивали на том, чтобы исходные данные были сформулированы с учётом возможностей средств ПРО. Тогда я объявил, что, поскольку по основному принципиальному вопросу соглашение не достигнуто, буду сообщать И.Д. Сербину о причинах провала совещания. После этого А.Г. Басистов согласился, что в исходных данных следует записать характеристики перспективных средств нападения. В конце совещания я поинтересовался, есть ли у представителей организаций оформленные предложения по структуре и содержанию исходных данных. Такой подготовленный документ оказался только у НИИ-2, и было принято решение взять предложения НИИ-2 за основу.

О работе института в области предполётной подготовки космонавтов для проведения военно-прикладных космических экспериментов в интересах КСПРН и ПРО вспоминает Е.Н. Лычев, начальник отдела, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, полковник в отставке:



Е.Н. Лычев

Правительственными решениями на институт возлагалась роль головной организации по подготовке и проведению на пилотируемых орбитальных станциях военно-прикладных экспериментов в интересах СПРН (программа «Свинец») и ПРО (программа «Октант»). В 1969–1985 гг. удалось реализовать несколько серий экспериментов по программе «Свинец».

Для повышения качества подготовки экипажей орбитальных станций в 1976 г. в институте был создан лабораторный экспериментальный комплекс «Старт». Его техническая новизна и научно-практическая значимость подтверждены авторскими свидетельствами на изобретения и премией Ленинского комсомола за 1976 год, присужденной молодым учёным института (Ю.Г. Демирский, Ю.Г. Кочетков, В.И. Баканов). Летом 1976 г. летчик-космонавт СССР, дважды Герой Советского Союза В.И. Севастьянов провел испытания комплекса, высоко оценил его качество и рекомендовал использовать ЛЭК «Старт» в качестве тренажёра при подготовке к полётам экипажей орбитальных станций «Салют». За 10 лет — с 1976 по 1986 г. — в институте побывали на занятиях 43 космонавта. На всех тренировках присутствовали мето-

дисты ЦПК им. Ю.А. Гагарина и куратор экспериментов от НПО «Энергия» М.А. Пронин.

Применительно к космическим исследованиям действовало негласное указание: докладывать в ЦК КПСС о необходимости и порядке проведения экспериментов, которые могут быть истолкованы американской стороной как противоречащие Договору по ПРО 1972 г.

Программа «Октант» не нарушала ни один пункт Договора по ПРО, но имела один демаскирующий признак: за короткий срок с «Салюта-7» необходимо выбросить полсотни исследуемых элементов. И хотя в США аналогичные работы проводились регулярно, открыто и гласно, наше руководство старалось скрыть прикладной характер проводимых исследований. В ноябре 1985 г. представитель Министерства обороны доложил об этом эксперименте М.С. Горбачеву, который готовился ко встрече с Рейганом. М.С. Горбачев назвал этот эксперимент политической безответственностью и запретил его проведение.

Мы продолжали разработку новой, уникальной программы «Октант-2», заданной постановлением правительства. Большая кооперация организаций отработывала серию исследуемых объектов, в том числе эталонных. Институт завершал разработку и согласование всех программно-методических документов и тренажных средств. Результатом работы должен был стать уникальный инструмент для прикладных исследований в составе орбитального комплекса «Мир», не имевший аналога в мировой космонавтике (модуль «Спектр»). К сожалению, работы не были завершены. Модуль «Спектр» продали американцам. Обидно за державу...

Коллектив нашего института и в настоящее время проводит большую работу по созданию системы воздушно-космической обороны Российской Федерации. Институт в данный момент является крупнейшей организацией Министерства обороны, решающей в научном плане весь спектр проблем создания, развития, эксплуатации и применения вооружения ПВО (ВКО). Высококвалифицированные научные кадры, развитые методический аппарат и материальная база позволяют создавать опережающий научный задел и обеспечивать своевременное и глубокое решение проблем в целях надёжного обеспечения безопасности Российской Федерации в воздушно-космической сфере.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Авторский коллектив книги не претендует на полное изложение всех имевших место фактов и событий. Безусловно, некоторые эпизоды, события, факты в диалектике развития систем воздушно-космической обороны не раскрыты в полной мере. Нами предпринята попытка зафиксировать основные вехи более чем полувековой истории развития зенитной ракетной техники, систем и комплексов ракетно-космической обороны, систем радиолокационной разведки и автоматизации управления, передать «дух» времен словами непосредственных участников описываемых событий.

Суммируя изложенный материал, можно сделать вывод о том, что в основе наших успехов и достижений в деле создания ВКО были высокопрофессиональные кадры, активная, заинтересованная и последовательная позиция руководителей государства. Мы отмечаем вклад старших поколений, создавших лучшие в мире образцы вооружения и военной техники. Отмечаем их самоотверженность, государственный подход, умение сплотиться для достижения цели, преодолеть любые трудности и невзгоды. Высочайшая организованность, личная ответственность за порученную работу, успешное решение сложнейших задач, преданность делу – вот характерные черты коллективов тружеников, служивших общему делу.

Обороноспособность и безопасность страны, достижение превосходства в развитии отечественного вооружения и военной техники – эти вопросы всегда были приоритетными вопросами государственной политики. Для их решения изыскивались необходимые ресурсы, обеспечивался постоянный жесткий контроль выполнения важнейших проектов, необходимые условия для эффективной работы создателей новых систем вооружения.

ОБ АВТОРАХ, РЕДАКТОРАХ, СОСТАВИТЕЛЕ



АЛЕБАСТРОВ Валерий Алексеевич

Старший научный сотрудник ОАО «НПК «НИИ-ДАР». Кандидат физико-математических наук. Специалист в области загоризонтной радиолокации. Автор 83 научных работ.



АШУРБЕЙЛИ Игорь Рауфович

Генеральный директор ОАО «ГСКБ «Алмаз-Антей». Кандидат технических наук, старший научный сотрудник. Лауреат премии Правительства РФ, лауреат национальной премии «Человек года» за 2009 г.



БЕЗЕЛЬ Яков Владимирович

Научный руководитель ОАО «МНИИПА». Доктор технических наук, профессор. Заслуженный деятель науки и техники РФ. Лауреат государственной премии. Действительный член РАН и АН РФ. Автор и соавтор 109 научных работ.



ДАВЫДОВ Георгий Викторович

Специалист в области системотехники ФГУП «ЦНИИ «Комета». Кандидат технических наук. Лауреат Государственных премий СССР и РФ. Автор более 180 научных трудов, имеет более 15 авторских свидетельств на изобретения и патентов. Почетный радист.



ДОБРИК Иван Иванович

Генеральный директор ОАО «МНИИРЭ «Альтаир».



ЕВСТРАТОВ Федор Федорович

Главный конструктор ОАО «НПК «НИИДАР». Доктор технических наук. Главный конструктор ЗГ РЛС «Дуга», ЗГ РЛК «Волна-М», ЗГ РЛС поверхностной волны. Автор 28 научных работ.



ЕВСТРОПОВ Герман Алексеевич

Ведущий специалист ОАО «НПК «НИИДАР». Главный конструктор РЛС «Дунай-ЗУ», «Дунай-ЗУМ», «Подсолнух» ОАО «НПК «НИИДАР». Первый заместитель главного конструктора РЛС «Воронеж-ДМ». Кандидат технических наук.



КОЗЛОВ Николай Николаевич

Главный научный сотрудник Центра (г. Москва) 4 ЦНИИ МО РФ. Доктор технических наук, профессор. Специалист в области разработки и обеспечения испытаний сложных систем вооружения и военной техники. Автор фундаментальных работ по теории и практике измерительно-информационных систем полигонных испытаний комплексов вооружения различного назначения. Заслуженный деятель науки РФ. Действительный член Академии военных наук и Академии естественных наук РФ.



КРАСНЫЙ Владимир Петрович

Ведущий научный сотрудник Центра (г. Москва) 4 ЦНИИ МО РФ. Доктор технических наук. Специалист в области испытаний сложных систем. Автор более 100 научных трудов.



ЛАГОВИЕР Александр Ильич

Первый заместитель генерального директора – генеральный конструктор ОАО «ГСКБ «Алмаз-Антей». Доктор технических наук, профессор. Лауреат премии Правительства РФ.



ЛЕГЕЗОВ Леонард Степанович

Специалист в области военно-космических радиосистем ФГУП «ЦНИИ «Комета». Кандидат технических наук. Лауреат Государственной премии СССР. Заслуженный конструктор РСФСР. Почетный радист. Автор 70 научных работ.



МИНАЕВ Владимир Николаевич

Директор Департамента радиоэлектронной промышленности Министерства промышленности и торговли РФ. Специалист в области системного анализа, радиолокации, навигации и испытаний сложных технических систем. Доктор технических наук, профессор. Участник создания и реализации директивных документов, определяющих перспективное развитие оборонно-промышленного комплекса страны, радиоэлектронной промышленности. Лауреат премии Правительства РФ. Автор более 150 научных трудов.



МИСНИК Виктор Порфирьевич

Генеральный директор – генеральный конструктор ФГУП «ЦНИИ «Комета». Ученый и конструктор в области создания космических информационно-управляющих и разведывательных систем специального назначения. Доктор технических наук, профессор. Заслуженный деятель науки РФ. Лауреат Государственной премии РФ. Автор более 350 научных трудов и изобретений. Член Совета генеральных и главных конструкторов, ведущих ученых и специалистов в области высокотехнологичных секторов экономики при Председателе Правительства РФ, член научного совета при Совете Безопасности РФ, член научно-технического совета Военно-промышленной комиссии при Правительстве РФ. Почетный радист.



МИШУКОВ Сергей Александрович

Кандидат технических наук. Специалист по разработке систем морского космического наблюдения ФГУП «ЦНИИ «Комета». Автор более 50 научных трудов и изобретений.



МУРАВЬЕВ Сергей Алексеевич

Советник директора Департамента радиоэлектронной промышленности Министерства промышленности и торговли РФ. В 1995-1999 - руководитель Департамента радиоэлектронной промышленности Госкомоборонпрома РФ, Миноборонпрома РФ, Минэкономики РФ. Специалист в области систем передачи информации и радиолокации. Участник создания и реализации ряда директивных документов, определяющих перспективное развитие электроники страны. Кандидат технических наук. Автор более 100 научных трудов, имеет 22 авторских свидетельства. Действительный член Международной академии информации. Лауреат Премии Правительства РФ. Почетный радист. Заслуженный машиностроитель РФ.



РАХМАНОВ Александр Алексеевич

Заместитель генерального директора – руководитель комплекса научных программ и исследований ОАО «Концерн «РТИ Системы». Председатель Совета директоров ОАО «ОКБ Планета». Специалист в области теории и практики программно-целевого планирования развития вооружения и военной техники, сложных информационных систем. Доктор технических наук, профессор. Руководитель научной школы. Подготовил 7 докторов и более 10 кандидатов наук. Лауреат премии Правительства РФ, Государственной премии им. Г.К.Жукова, премии им. А.В.Суворова. Заслуженный деятель науки РФ. Автор более 350 научных трудов.



САПРЫКИН Сергей Дмитриевич

Генеральный конструктор ОАО «НПК «НИИДАР». Кандидат технических наук. Автор технологии высокой заводской готовности для РЛС дальнего обнаружения космических объектов. Главный конструктор РЛС ВЗГ «Воронеж-ДМ».



СВЕТЛОВ Владимир Григорьевич

Генеральный конструктор ОАО «МКБ «Факел» им. П.Д.Грушина. Доктор технических наук, профессор. Ведущий специалист в области разработки, изготовления, испытаний и внедрения в серийное производство зенитных управляемых ракет для систем ПВО и ПРО. Лауреат Государственной премии СССР, Государственной премии РФ, премии Правительства РФ. Член Высшей аттестационной комиссии Министерства образования и науки. Академик РАН. Автор и соавтор более 150 научных трудов, в их числе более 50 статей и 16 изобретений (авторских свидетельств и патентов). Под его руководством работают 5 докторов технических наук и 15 кандидатов технических наук.



СЛОКА Виктор Карлович

Генеральный конструктор ОАО «РТИ им. академика А.Л.Минца». Герой Российской Федерации. Специалист в области радиоинформационных технологий, конструктор уникальных радиоинформационных комплексов и радиолокационных станций, входящих в состав стратегических оборонных систем страны – предупреждения о ракетном нападении (ПРН), контроля космического пространства (ККП) и противоракетной обороны (ПРО). Доктор технических наук, профессор. Действительный член Академии технологических наук РФ, Академии инженерных наук РФ, Международной академии информатизации, Международной академии связи. Лауреат Государственной премии. Автор и соавтор более 110 научных трудов, в т. ч. 2 монографий.



СОКОЛОВ Сергей Михайлович

Заместитель генерального директора по научной работе – главный конструктор ОАО «МНИ-ИРЭ «Альтаир». Кандидат технических наук, старший научный сотрудник. Лауреат премии Правительства в области науки и техники.



СОРОКИН Владимир Анатольевич

Главный конструктор РЛС «Крона», РЛС «Познание» ОАО «НПК «НИИДАР»



СУМИН Анатолий Сергеевич

Советник генерального конструктора ОАО «ГСКБ «Алмаз-Антей». Доктор технических наук, профессор. Заслуженный деятель науки и техники РФ. Лауреат Государственной премии РФ.



СУХАНОВ Сергей Александрович

Генеральный конструктор ОАО «МАК «Вымпел». Доктор технических наук, профессор. Заслуженный конструктор Российской Федерации, Почетный радист Российской Федерации, действительный член Российской академии космонавтики им. К.Э. Циолковского и Академии военных наук. Автор более 250 научных трудов.



ТАНЫГИН Анатолий Александрович

Генеральный директор ОАО «ВНИИРТ» и ОАО «ФНПЦ «ННИИРТ». Специалист в области радиолокации. Кандидат технических наук. Заслуженный конструктор РФ. Академический советник Российской Академии ракетных и артиллерийских наук, член Президиума Нижегородского регионального отделения Всероссийской Ассоциации Лиги содействия оборонным предприятиям, член Нижегородской Ассоциации промышленников и предпринимателей. Автор более 80 научных публикаций и 7 изобретений.



ФАТЕЕВ Вячеслав Филиппович

Президент ОАО «МАК «Вымпел». Специалист в области космической радиолокации, радионавигации. Доктор технических наук, профессор. Деятель науки РФ. Член Академии военных наук, Академии инженерных наук, Российской Академии естественных наук. Член-корреспондент Академии космонавтики имени К.Э.Циолковского. Член Экспертного совета ВАК РФ по военным наукам. Руководитель ведущей научной школы «Малые космические аппараты». В созданной им научной школе подготовлено 8 кандидатов, 4 доктора наук. Автор более 200 научных трудов, 43 изобретений. Лауреат премии МО РФ. Почетный радист.



ЧЕЛЬЦОВ Борис Федорович

Руководитель Московского отделения воздушно-космической обороны Академии военных наук Российской Федерации, первый заместитель генерального директора – исполнительный директор ОАО «МНИИПА», доктор военных наук, генерал-полковник, заслуженный военный специалист, действительный академик АВН, лауреат Государственной премии и премии Правительства Российской Федерации в области науки и техники.



ШУСТОВ Эфир Иванович

Главный конструктор РЛС «Резонанс» ОАО «НПК «НИИДАР». Специалист в области загоризонтной радиолокации.



ЯГОЛЬНИКОВ Сергей Васильевич

Начальник 2 ЦНИИ МО РФ. Доктор технических наук, профессор. Заслуженный деятель науки РФ. Ведущий специалист в области создания и боевого применения систем ПВО. Автор и соавтор более 300 научных трудов, в их числе более 150 статей и 20 изобретений.

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Минаев В.Н.</i> Введение	5
Глава первая. Технологии противовоздушной обороны	7
<i>Ашурбейли И.Р., Лаговиер А.И., Сумин А.С.</i> Зенитные ракетные комплексы и системы.....	8
<i>Добрик И.И., Соколов С.М.</i> Диалектика технологий корабельных зенитных ракетных комплексов российского Военно-морского флота.....	70
<i>Таныгин А.А.</i> Радиолокационные системы. Технологии радиолокационного обеспечения воздушно-космической обороны.....	85
<i>Безель Я.В.</i> Автоматизированные системы управления.....	137
<i>Чельцов Б.Ф.</i> Диалектика воздушно-космической обороны: от идеи до реализации.....	155

Глава вторая.**Технологии ракетно-космической обороны..... 165***Слока В.К.*

Суперрадиолокационные станции
сверхдальнего обнаружения
ракетно-космической обороны..... 166

Сапрыкин С.Д., Евстропов Г.А.

Станции дальнего обнаружения НИИ дальней
радиосвязи.
История, основные характеристики,
принципы построения и перспективы
развития..... 178

Алебастров В.А., Шустов Э.И.

Развитие технологий
загоризонтной радиолокации..... 197

Евстратов Ф.Ф.

Проблемы и достижения в создании
в Российской Федерации загоризонтных
РЛС поверхностной волны..... 204

Сорокин В.А.

Радиолокация на службе контроля
космического пространства..... 221

Светлов В.Г.

Зенитные управляемые ракеты МКБ «Факел»..... 226

*Давыдов Г.В., Легезо Л.С., Мисник В.П.,**Мишуков С.А.*

Космические системы
стратегического назначения..... 252

СОДЕРЖАНИЕ

Суханов С.А., Фатеев В.Ф. Технологии, системы и средства ракетно-космической обороны в решении задач воздушно-космической обороны Российской Федерации.....	283
Глава третья. Технологии испытаний систем и средств воздушно-космической обороны.....	305
Козлов Н.Н., Красный В.П. Особенности обеспечения испытаний систем воздушно-космической обороны.....	306
Ягольников С.В. Роль и место 2 ЦНИИ Минобороны России в создании и развитии воздушно-космической обороны.....	337
Заключение.....	356

ДИАЛЕКТИКА ТЕХНОЛОГИЙ ВОЗДУШНО-КОСМИЧЕСКОЙ ОБОРОНЫ

Научное издание

Под редакцией доктора технических наук профессора Минаева В.Н.
Научный редактор доктор технических наук профессор Рахманов А.А.
Составитель кандидат технических наук Муравьев С.А.

Литературный редактор Дека Т.В.
Оформление обложки, ретушь: Блинова А.А.
Верстка, макет: Ларина А.Е.

УДК 355.354+623.74:629.78
ББК 68.55
Д44
ISBN 978-5-903989-09-6

© ЗАО «Издательский дом «Столичная энциклопедия»,
художественное оформление, 2011
© Муравьев С.А., составление, 2011

Подписано в печать 20 декабря 2010 г.
Формат 70 x 100/16
Печать офсетная
Заказ
ЗАО «Издательский дом
«Столичная энциклопедия»
105005, г. Москва,
ул. 2-я Бауманская, д. 9/23
Тел: (495) 777 95 16
www.moskva-kniga.ru
E-mail: pervov-izdat@yandex.ru

Отпечатано в типографии «LocusStandi»
г. Москва,
ул. Щепкина, 8
Тел: (495) 727 14 51
www.ls.ru

