

**1960
2020**



Концерн ВКО
Алмаз - Антей

60 лет




РАДИОФИЗИКА



РАДИОФИЗИКА

— — — — — **60 лет** — — — — —
НА СЛУЖБЕ РОДИНЕ

МОСКВА 2021



**Авторы книги: коллектив сотрудников ПАО «Радиофизика»,
под редакцией Шишлова А.В.**

*Посвящается работникам и ветеранам
Публичного акционерного общества «Радиофизика».*

«60 лет. Радиофизика» – 2021. – 144 с.

Эта книга посвящена истории становления и развития отечественной радиолокации – отрасли высоких технологий и передовой науки, людям, которые своим талантом и самоотверженным трудом смогли воплотить в жизнь самые смелые идеи и создать уникальные радиотехнические системы.

Значительную часть этого издания составили рассказы и воспоминания ветеранов предприятия, которые стояли у истоков его создания, выдающихся ученых и конструкторов, составляющих ядро коллектива и передающих свой опыт и традиции молодому поколению инженеров.

За 60 лет работы трудовым коллективом предприятия были созданы сложнейшие радиолокационные системы, обеспечивающие безопасность страны, наблюдение за космосом, спутниковую связь и управление воздушным движением.

Авторы книги постарались отметить наиболее важные этапы развития ПАО «Радиофизика», подвести итоги, вспомнить всех, кто посвятил многие десятилетия работе на предприятии.

| | |
|---|-----|
| ■ ПОЗДРАВЛЕНИЯ: | |
| СОЗИНОВ Павел Алексеевич _____ | 4 |
| ЛЕВИТАН Борис Аркадьевич _____ | 6 |
| ■ ОСНОВНЫЕ ПАМЯТНЫЕ ДАТЫ _____ | 8 |
| ■ ИСТОРИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ | |
| - Специальное конструкторское бюро СКБ-38, КБРП _____ | 10 |
| - Крупноапертурные антенны систем ПРО и ПРН _____ | 18 |
| - Антенны спутниковых РЛС _____ | 25 |
| - Сибирский солнечный радиотелескоп _____ | 27 |
| - Измерения характеристик антенн РЛС _____ | 28 |
| - НИИ радиофизики. СВЧ-энергетика. | |
| Радиолокация миллиметрового диапазона _____ | 30 |
| - Победа в борьбе за выживание _____ | 34 |
| - Начало XXI века, надежды и достижения _____ | 39 |
| - Радиотехнические системы с цифровыми АФАР _____ | 41 |
| ■ ПАО РАДИОФИЗИКА СЕГОДНЯ | |
| - Новый этап развития предприятия _____ | 48 |
| - Технологическая база _____ | 49 |
| - Радиоизмерения в безэховой камере _____ | 56 |
| - Измерения характеристик электромагнитной совместимости _____ | 60 |
| - Механические и климатические испытания радиоэлектронных устройств _____ | 61 |
| - Профессиональное обучение и образование _____ | 62 |
| - Научно-технические конференции «Радиолокация и связь – перспективные технологии» _____ | 67 |
| - Внешнеэкономическая деятельность и участие в международных выставках _____ | 69 |
| - Международные научно-технические конференции _____ | 73 |
| - Визиты официальных лиц _____ | 75 |
| - Совет молодых специалистов _____ | 79 |
| - Наши партнеры. «Чистопольский проект» НИИ радиофизики _____ | 80 |
| - Конструкторское бюро системного программирования _____ | 83 |
| ■ СОТРУДНИКИ ПРЕДПРИЯТИЯ | |
| - Руководители предприятия _____ | 86 |
| - Коллективы подразделений _____ | 87 |
| - Руководители предприятия в разные годы _____ | 108 |
| - Ведущие специалисты и руководители направлений _____ | 114 |
| - Лауреаты премий и конкурсов _____ | 134 |
| - Общественная жизнь (не хлебом единым) _____ | 138 |



СОЗИНОВ ПАВЕЛ АЛЕКСЕЕВИЧ

генеральный конструктор,
АО «Концерн ВКО «Алмаз-Антей»

"...Будьте достойными продолжателями дел Расплетина, Бубнова, Толкачева".

31 декабря 1960 года на Заводе имени М. В. Хруничева по инициативе генерального конструктора легендарного КБ-1 академика А. А. Расплетина было создано Специальное конструкторское бюро № 38 для организации производства антенн комплексов ПВО С-75 и С-125. Мало ли подразделений создаются и исчезают на крупных заводах. Но СКБ-38 выпала иная судьба. Через два года оно было переведено на Тушинский машиностроительный завод, а в 1965 году стало самостоятельным предприятием – КБ радиотехнических приборов. Тематика противовоздушной обороны дополнилась тематикой противоракетной обороны. Эти годы отмечены участием предприятия в разработках крупных радиолокационных станций с электрическим управлением лучом «Азов», «Дунай-3», «Дуга», «Дарьял», «Неман», «Дон-2Н». В 1981 году предприятие было преобразовано в Научно-исследовательский институт Радиофизики с собственной тематикой.

За 60 лет небольшое КБ численностью около 100 человек прошло путь до крупного научно-производственного предприятия с современными технологическими процессами и квалифицированным персоналом.

В настоящее время ПАО «Радиофизика» является одним из флагманов концерна «Алмаз-Антей».

Радиолокаторы «Руза», «Моренос-РЛК», «Развязка» уникальны по своим радиотехническим характеристикам и являются достойным вкладом предприятия в укрепление обороноспособности нашей страны. Антенны спутниковой системы связи «Радуга» уже много лет используются на самолетах руководителей нашего государства. Система спутниковой связи для организации воздушного движения обеспечивает регулярность и безопасность полетов гражданской авиации над территорией России.

Измерительный комплекс на базе самой большой в стране безэховой камеры является одним из лучших в стране и позволяет не только обеспечивать высокое качество производимой продукции, но и проводить испытания радиоаппаратуры других предприятий отрасли.

Созданные еще первым директором предприятия Георгием Григорьевичем Бубновым базовые кафедры МФТИ и МАИ уже в течение более сорока лет обеспечивают приток на предприятие талантливой молодежи, которая является источником высококвалифицированных инженерных кадров. В свою очередь, сильный кадровый состав позволяет проводить разработки сложнейших радиолокаторов на высоком научном, техническом и технологическом уровне.

Успехи предприятия в 1985 году были отмечены орденом Трудового Красного Знамени.

В 2007 году ОАО «Радиофизика» вошло в состав АО «Концерн ВКО «Алмаз-Антей». В результате предприятие получило устойчивый государственный оборонный заказ и прошло масштабное техническое перевооружение.

Руководство концерна рассчитывает на дальнейшую успешную разработку на предприятии новейших радиотехнических средств, очень необходимых нашей Родине в настоящее сложное время.

Поздравляю коллектив ПАО «Радиофизика» с 60-летием со дня образования предприятия и желаю новых успехов в деле создания высокотехнологичных современных систем радиолокации и радиосвязи. Желаю здоровья и творческих успехов сотрудникам предприятия. Будьте достойными продолжателями дел Расплетина, Бубнова, Толкачева!



ЛЕВИТАН БОРИС АРКАДЬЕВИЧ

генеральный директор,
ПАО «Радиофизика»

"Идеи, положенные в основу создания радиолокаторов, способствуют модернизации техники и экономики на протяжении многих десятилетий".

А. Толкачев

Уважаемые коллеги!

31 декабря исполнилось 60 лет нашему предприятию!

Это были годы упорного труда коллектива ученых, инженеров, рабочих, специалистов, усилиями которых созданы уникальные радиотехнические комплексы, которые на земле, в воздухе, в космосе и сегодня стоят на страже рубежей нашей Родины!

Отдавая дань уважения к достижениям и заслугам наших основателей и ветеранов, мы и сегодня продолжаем работы, направленные на создание новейших радиосистем в различных диапазонах волн, включая:

- радиолокационные комплексы с активными фазированными решетками;
- системы приема и обработки телеметрической информации;
- системы спутниковой связи для управления воздушным движением;
- комплексы автоматической посадки беспилотных летательных аппаратов.

И многое другое.

Для поддержания высокого профессионального уровня наших разработок, мы, при поддержке АО «Концерн ВКО «Алмаз-Антей», провели масштабное техническое перевооружение, оснастились высокопроизводительным технологическим


оборудованием, станками с числовым программным управлением, автоматизированными измерительными комплексами, большой номенклатурой приборов и вычислительных средств. Это позволяет нам создавать аппаратуру на базе микроэлектронных компонентов, цифровых и оптоэлектронных устройств.

Мы активно наращиваем наш портфель заказов не только внутри страны, но и с перспективой зарубежных поставок.

Однако сердцевиной, залогом успеха любого предприятия является его коллектив и, в этом плане, мы упорно работаем над повышением профессионального мастерства и научно-технического уровня разработчиков. Наши сотрудники преподают и готовят будущих бакалавров, специалистов и магистров на базовых кафедрах Московского физико-технического института (МФТИ) и Московского авиационного института (МАИ). Для желающих повысить свой образовательный уровень, защитить диссертацию у нас работает аспирантура. Мы предлагаем молодежи доступный нам пакет социальных программ и мероприятий.

Убежден, что наш коллектив выполнит все намеченные планы. Мы с оптимизмом смотрим в будущее!

Поздравляю всех сотрудников с 60-летием ПАО «Радиофизика»!



ОСНОВНЫЕ ПАМЯТНЫЕ ДАТЫ В ИСТОРИИ ПАО «РАДИОФИЗИКА»



31 декабря
1960

Распоряжением Мосгорсовнархоза СССР № 000371 в составе завода п/я 222 образовано СКБ № 38. Начальником КБ назначен Г. Г. Бубнов. 3 июля 1961 года завод п/я 222 переименован в Машиностроительный завод имени М. В. Хруничева.

1 сентября
1962

Приказом Государственного Комитета по радиоэлектронике СМ СССР СКБ № 38 передано заводу п/я 1309. 2 августа 1963 года завод п/я 1309 переименован в Тушинский машиностроительный завод.

2 апреля
1965

Постановлением ЦК КПСС и Совета Министров СССР № 126-47 от 02.03.1965 г. СКБ № 38 выделено из состава Тушинского машиностроительного завода и названо п/я № 4712.

1 октября
1966

Приказом Министерства радиопромышленности СССР № 160 от 24.03.1966 г. предприятию присвоено наименование Конструкторское бюро радиотехнических приборов (КБРП) Центрального научно-производственного объединения «Вымпел».

3 октября
1967

Постановлением СМ СССР № 753 от 03.10.1967 г. КБРП переименовано в Конструкторское бюро радиоприборов имени академика А. А. Расплетина Центрального научно-производственного объединения «Вымпел».

Впоследствии созданы филиалы предприятия в городах Гомеле, Сызрани и Чистополе.

1980

КБРП переданы работы по мощной СВЧ-энергетике. В КБРП переведен из НИИРП коллектив разработчиков во главе с О. А. Ушаковым, который назначен заместителем директора по науке.

1 августа
1981

Распоряжением СМ СССР № 1280 от 29.06.1981 г. КБРП имени А. А. Расплетина переименовано в Научно-исследовательский институт радиофизики (НИИРФ) имени академика А. А. Расплетина Центрального научно-производственного объединения «Вымпел».

11 февраля
1985

Указом Президиума Верховного Совета СССР от 11.02.1985 г. НИИРФ имени академика А. А. Расплетина награжден орденом Трудового Красного Знамени.

29 октября
1986

Умер основатель и первый директор НИИРФ Г. Г. Бубнов

ОСНОВНЫЕ ПАМЯТНЫЕ ДАТЫ В ИСТОРИИ ПАО «РАДИОФИЗИКА»

В НИИРФ переведен большой коллектив разработчиков из НИИРП во главе с А. А. Толкачевым, занимающийся разработкой радиолокационных станций. Директором назначен В. В. Петросов, научно-техническим руководителем и Генеральным конструктором – А. А. Толкачев. Работы по мощной СВЧ-энергетике и коллектив разработчиков во главе с О. А. Ушаковым переведены в МРТИ.

Комитетом Российской Федерации по оборонным отраслям промышленности НИИРФ имени академика А. А. Расплетина преобразован в Акционерное общество открытого типа (АООТ) «Радиофизика».

АООТ «Радиофизика» переименовано в Открытое акционерное общество «Радиофизика» (ОАО «Радиофизика») и подчинено Министерству оборонной промышленности Российской Федерации (Миноборонпром России).

ОАО «Радиофизика» подчинено Министерству экономики Российской Федерации.

ОАО «Радиофизика» подчинено Российскому Агентству по системам Управления (РАСУ).

Генеральным директором ОАО «Радиофизика» избран Б. А. Левитан.

ОАО «Радиофизика» вошло в состав АО «Концерн ВКО «Алмаз-Антей».

ОАО «Радиофизика» переименовано в ПАО «Радиофизика».

Главным конструктором ПАО «Радиофизика» назначен С. А. Топчиев.

1 января
1987

9 марта
1993

9 сентября
1996

с мая
1997

с мая
1999

10 июня
2005

5 февраля
2007

1 марта
2015

1 июля
2016



ИСТОРИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ

■ СПЕЦИАЛЬНОЕ КОНСТРУКТОРСКОЕ БЮРО СКБ-38, КБРП

У ИСТОКОВ

Наше предприятие было создано шестьдесят лет назад. Это были времена холодной войны. В США и НАТО в те годы детально прорабатывались планы нападения на СССР, нанесения термоядерных ударов по Москве, столицам союзных республик, крупным городам и промышленным центрам нашей страны.

Только своевременное создание в СССР термоядерного оружия, ракетных вооружений, а также средств противовоздушной обороны (ПВО), противоракетной обороны (ПРО), систем контроля космического пространства (ККП) и предупреждения о ракетном нападении (ПРН) позволило противостоять этим намерениям и избежать горячей войны.

Разработкой и созданием систем ПВО и ПРО в СССР занималось созданное в 1947 году КБ-1. Уже в 1955 году этим предприятием под руководством главного конструктора А. А. Расплетина была создана система ПВО Москвы С-25 (система «Беркут»). В 1958 году в КБ-1 была создана мобильная система ПВО С-75, а в 1960 году – система С-125. Обе системы способны поражать цели на расстояниях в десятки километров, причем С-125 поражала маловысотные цели.

1 мая 1960 года системой С-75 над Уралом был сбит американский самолет-разведчик У-2, пилотируемый летчиком Ф. Пауэрсом. Это был самый совершенный американский самолет-разведчик, который летал на высоте до 21 километра и превосходил все существующие аналоги.

Имевшиеся ранее средства ПВО «достать» У-2 не могли. С его помощью американцы регулярно нарушали воздушное пространство СССР и несколько лет безнаказанно фотографировали особо важные объекты. После того, как самолет Пауэрса был сбит, полеты самолетов-шпионов над территорией СССР прекратились.

В 1958 году в КБ-1 приступили к созданию системы С-200, предназначенной для уничтожения целей на дальностях до нескольких сотен километров.



РАСПЛЕТИН Александр Андреевич
Генеральный конструктор,
создатель первых зенитно-ракетных
систем ПВО СССР,
Герой Социалистического Труда,
академик Академии наук СССР

К началу 60-х годов на повестку дня встала задача организации серийного производства мобильных комплексов ПВО, которые изготавливали силами многих десятков заводов. Ключевой составной частью всех систем ПВО были РЛС. Тогда в РЛС применялись антенны с механическим сканированием. Для организации изготовления РЛС на заводах, сопровождения производства и испытаний нужно было предприятие, которое взяло бы на себя координацию работ этой кооперации.

Была и другая задача. В 1955 году в соответствии с решениями Правительства СССР в КБ-1 началась разработка систем ПРО под руководством главного конструктора Г. В. Кисунько. Особая сложность создания таких систем, в отличие от систем ПВО, состоит в том, что головные части баллистических ракет имеют малые эффективные поверхности рассеяния (ЭПР) и существенно большие скорости движения. Поэтому размеры антенн и мощности передатчиков радиолокаторов ПРО должны быть больше, чем у РЛС ПВО.

В 1960 году была разработана и развёрнута на полигоне Сары-Шаган около озера Балхаш первая экспериментальная система ПРО (система «А»). 4-го марта 1961 года эта система поразила головную часть баллистической ракеты 8К63, запущенной с полигона Капустин Яр. Как выразился Н. С. Хрущев, «попали мухе в глаз».



КИСУНЬКО Григорий Васильевич
 Генеральный конструктор
 противоракетной обороны,
 создатель первой в мире
 экспериментальной системы
 ПРО – системы «А»
 и первой боевой системы ПРО «А-35»,
 Герой Социалистического Труда,
 член-корреспондент Академии наук СССР

Продолжение разработок в 60-е годы было нацелено на создание ПРО Москвы, предназначенной для защиты столицы от налета баллистических ракет.

Ввиду необходимости работы с большим количеством быстро движущихся баллистических целей, одной из самых принципиальных стала задача создания больших антенн с электрическим сканированием луча – фазированных антенных решеток (ФАР). Для конструирования таких РЛС с ФАР, организации их изготовления на заводах, сопровождения монтажа и испытаний на объектах впоследствии также понадобилось участие специализированного конструкторского бюро.

АНТЕННОЕ КБ

Для создания упомянутых радиосистем ПВО и ПРО и, в частности, крупных антенн для них, были привлечены многие десятки заводов и КБ различных министерств и ведомств. Координацией работ этих предприятий занималось головное КБ-1, а также созданное в 1960 году специальное конструкторское бюро, директором которого был назначен выпускник МФТИ Георгий Григорьевич Бубнов.

Как показала жизнь, этот человек и руководимый им коллектив справились с возложенными на них задачами. В последующие годы антенная промышленность СССР обеспечила замкнутый цикл проектирования, изготовления и испытаний десятков сложных антенн и РЛС на их основе. Бубнов фактически стал основателем школы проектирования крупноапертурных антенн, техническим руководителем и главным конструктором большого числа разработок.



БУБНОВ Георгий Григорьевич
 в начале 1960-х

ПЕРВЫЕ ГОДЫ ПРЕДПРИЯТИЯ

Вначале наше КБ называлось СКБ-38 и располагалось на территории завода имени Хруничева в Филлях, где серийно изготавливались антенны системы С-75. Затем КБ переехало на Тушинский машиностроительный завод, а с 1964 года оно получило собственную территорию с ангаром и другими зданиями в Тушино и стало называться Конструкторским бюро радиоприборов (КБРП).



Старая территория предприятия
на Химкинском бульваре.
Авиационный ангар

В 1966 году было заложено новое здание на улице Героев Панфиловцев, в которое КБ переехало в 1975 году. Впоследствии рядом с основным зданием были построены производственные корпуса и большая безэховая камера.



Один из корпусов старой территории
предприятия

Предприятие участвовало в создании радиосистем, разработчиками которых были головные предприятия Министерства радиопромышленности: НПО «Алмаз», НИИ радиоприборостроения, радиотехнический институт, НИИ дальней радиосвязи, Московский НИИ приборостроения и другие.

Главными конструкторами разработок были руководители этих институтов Расплетин А. А., Кисунько Г. В., Бункин И. В., Басистов А. Г., Бурлаков Ю. Г., Архаров М. А., Груздев В. В., Толкачев А. А., Иванцов В. М., Авраменко Р. Ф., Слока В. К., Сосульников В. П., Кузьминский Ф. А., Мусатов А. Н., Брухаский Б. В. и другие.

Задачами КБ Бубнова были конструирование антенн, организация их изготовления на заводах, авторское сопровождение монтажа и испытаний на объектах. В известной степени, это была «черная», но крайне важная, ответственная и непростая работа.

В КБРП сложилось сильное конструкторское подразделение, которое занималось разработкой документации, сопровождением производства и монтажа. Также было подразделение, занимающееся полигонными испытаниями РЛС. В те годы ближайшими соратниками Бубнова были конструкторы, технологи, производственники, монтажники, испытатели. Большинство из них были яркими талантливыми людьми, энтузиастами своего дела.



Закладка высотного здания КБРП
на ул. Героев Панфиловцев, 10, 1966 г.

Конечно же, именно благодаря их деятельности сформировалось и стало значимым наше предприятие.



Здание КБРП имени академика
А.А. Расплетина на Первомай в 70-е годы

В 60-е – 80-е годы XX-го века кооперацией предприятий с участием КБРП были созданы многие десятки сложнейших РЛС с большими антеннами.

Сейчас, в начале XXI века, стало модным говорить об инновационных проектах, «стартапах», технопарках, предназначенных для создания новой продукции на основе научных разработок. Так вот, Бубнов организовал кооперацию предприятий, которая успешно создавала большие антенны и мощные РЛС много десятков лет назад, потому что так делалось всегда при решении задач, имеющих важное государственное значение, и иначе такие задачи решать невозможно.

С-75

Зенитно-ракетная система С-75 была разработана в КБ-1. Она обеспечивала поражение целей на дальностях до 30 км и на высотах до 25 км.

В 1958 году началось освоение серийного производства системы С-75 С-диапазона на заводах.



РЛС системы С-75

Наиболее сложными устройствами системы были сканирующие антенны.

Это связано с тем, что в 50-е годы еще не были созданы фазовращатели для антенных решеток со сканированием, и относительно быстрое перемещение луча в пространстве можно было осуществлять только с помощью электромеханических сканеров.

В С-75 использованы зеркальные антенны с электромеханическими сканерами, формирующие сканирующие веерные лучи.

Направленные А. А. Расплетиным на авиационный завод в Филях для сопровождения производства антенн молодые инженеры Г. Г. Бубнов и Е. А. Теленков блестяще справились со своей задачей: в короткие сроки завод начал серийно выпускать продукцию.

30 декабря 1960 года на заводе было создано СКБ-38 под руководством Бубнова. Именно от этой даты отсчитывается история нашего предприятия. Система С-75 стала его первой работой.

Система С-75 была принята на вооружение, серийно выпускалась в течение нескольких десятилетий и хорошо зарекомендовала себя в боевых действиях.

С-125

Следующая система, разработанная в КБ-1, в создании которой участвовало СКБ-38, была система С-125. Эта система, в отличие от С-75, предназначена для поражения низколетящих целей (высоты от 25 метров).

В С-125, как и в системе С-75, применены зеркальные антенны с электромеханическими сканерами.

По сравнению с С-75 в С-125 приняты меры для снижения уровня принимаемых радиолокатором отражений от земли. В частности, система С-125 работает на более высоких частотах.

Система С-125, наряду с С-75, была принята на вооружение и выпускалась серийно.



РЛС системы С-125

С-200

Следующая большая работа, порученная коллективу СКБ, была связана с созданием антенного поста системы С-200. Эта система обеспечивала обнаружение и поражение целей на дальностях уже не в десятки, а в сотни километров на высотах до 50 км.



РЛС системы С-200

Главным разработчиком было КБ-1, а СКБ-38 занималось конструированием и сопровождением производства антенных постов. Антенный пост системы С-200 представляет собой сборку, состоящую из приемной и передающей зеркальных антенн, размещенных на поворотной кабине контейнера с аппаратурой станции. Узкий луч передающей антенны формируется несимметричным параболическим зеркалом. Приемная антенна с несимметричным зеркалом имеет моноимпульсный облучатель, формирующий суммарно-разностную диаграмму, позволяющую измерять угловые координаты цели с высокой точностью. Между антеннами установлен экран для увеличения развязки.

Использование в С-200 остронаправленных антенн с карандашными лучами вместо антенн с веерными лучами систем С-75 и С-125 стало одним из главных факторов, позволивших существенно повысить потенциал локатора и дальность действия системы.

После завершения испытаний система в течение многих лет стояла на вооружении.

РЛС СИСТЕМЫ «АЗОВ»

В 1961 году в КБ-1 была начата разработка РЛС стрельбового комплекса ПРО С-225 «Азов», предназначенного для защиты отдельных важных объектов страны от одиночных баллистических и крылатых ракет. Это одна из первых РЛС, в которой применены фазированные антенные решетки (ФАР).

Передающая антенна выполнена в виде плоской ФАР размерами 7х7 м. Она имела сектор электрического сканирования $\pm 20^\circ$. ФАР выполнена в виде рупорной решетки с ферритовыми фазовращателями. Излучатели передающей ФАР объединены в подрешетки, подключенные с помощью волноводной фидерной системы к выходам многоканального клистронного передатчика, также установленного на поворотной части.

Приемная ФАР также имела размер 7х7 м. Она состояла из центральной части с эквидистантной решеткой вибраторных излучателей и периферийной части с решеткой неэквидистантно расположенных печатных излучателей. Такая конструкция позволила снизить уровень бокового излучения.



РЛС «Азов»

Антенны и приемопередающая аппаратура установлены на опорно-поворотном устройстве, обеспечивающем наведение луча РЛС на цель в любом направлении в верхней полусфере.

Опытный образец системы «Азов» был установлен на полигоне Сары-Шаган в 1971 году. С его помощью осуществлялись проводки баллистических ракет на полигоне. В 1972 году был подписан договор с США об ограничении ПРО, и эта станция была уничтожена.

Успешные проводки баллистических ракет на полигоне Сары-Шаган побудили военное руководство установить в 1975 году второй образец РЛС как измерительное средство на Камчатском полигоне Кура, куда велись стрельбы баллистическими ракетами. На полигоне Кура РЛС стояла в течение нескольких десятилетий и являлась основным измерительным средством.

НИЗКОВЫСОТНЫЙ ОБНАРУЖИТЕЛЬ (НВО) СИСТЕМЫ С-300П

Разработка системы ПВО С-300П была начата в КБ-1 в 1966 году. В системе предусмотрен НВО, предназначенный для обнаружения и сопровождения низколетящих целей.



НВО системы ПВО С-300П

Наше предприятие занималось конструированием антенного поста НВО, который включает в себя несимметричные зеркальные антенны с многоэлементными облучателями и приемопередающую аппаратуру в контейнере.

Пост установлен на подъемной мачте высотой 25 метров. НВО переводится из транспортного положения в рабочее всего за восемь минут и вращается по азимуту с угловой скоростью до двадцати оборотов в минуту.

После разворачивания НВО в рабочее положение антенна наводится по углу места в пределах от 0° до 90° с высокой точностью.

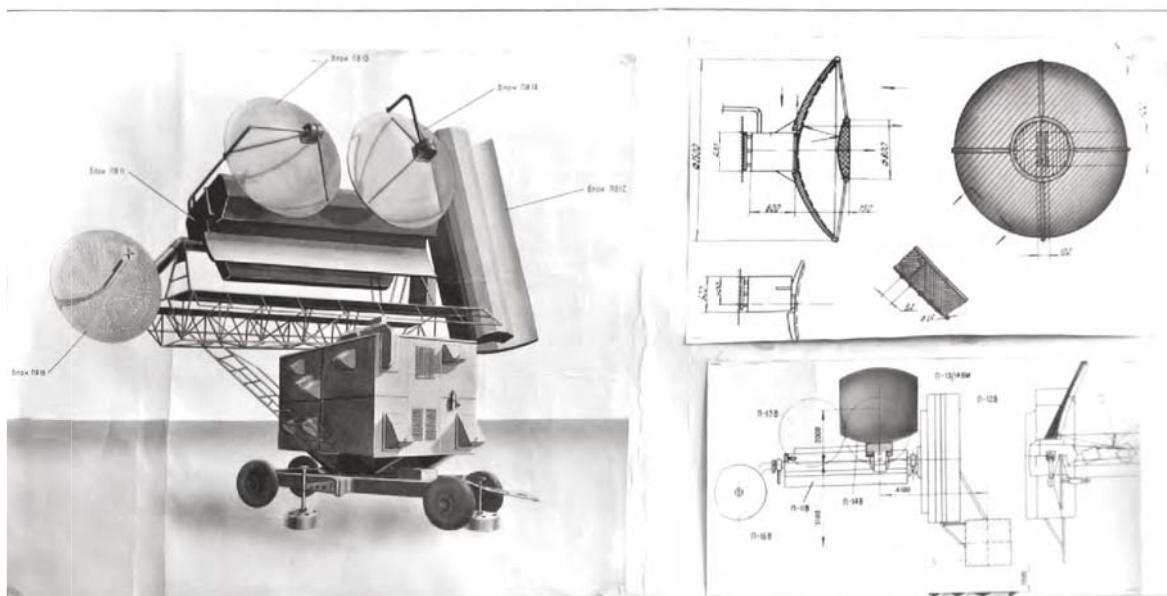
Конструкция вышки позволяет гасить ударную волну ядерного взрыва, что подтверждено натурными испытаниями на Семипалатинском полигоне.

Система С-300П серийно производилась и стоит на боевом дежурстве в войсках ПВО с 1984 года.



ПЛАКАТ СКБ-38

АНТЕННЫЕ УСТРОЙСТВА СИСТЕМ ТИПА С-75 ПОСАДКИ САМОЛЁТОВ (ВАРИАНТЫ КОМПОНОВОК)



Антенны комплекса С-75.

В силу режимных соображений на плакате использовано образное название «Система посадки самолетов». Соответствие названия фактически выполняемым задачам было многократно подтверждено, начиная с «посадки» Пауэрса 1 мая 1960 года над Уралом.

ЖИЗНЬ В КБРП-НИИРФ В РАЗНЫЕ ГОДЫ



Совещание в кабинете Бубнова, 1970-е гг.



В конструкторском отделе



Профессор Бубнов и профессор Шифрин, 1960-е гг.



Бубнов выступает на собрании в концертном зале, 1970-е гг.



Открытие пионерского лагеря, 1974 г.



Пионеры подшефной школы поздравляют коллектив с двадцатилетием предприятия

■ КРУПНОАПЕРТУРНЫЕ АНТЕННЫ СИСТЕМ ПРО И ПРН

РЛС «ДУНАЙ-3»

В начале 60-х годов XX века коллектив КБ приступил совместно с НИИ дальней радиосвязи к разработке антенной системы для РЛС дальнего обнаружения «Дунай-3». Назначение этой РЛС – обнаружение баллистических ракет на больших расстояниях. Для этой цели понадобилась антенная система с большой площадью апертуры и электрическим сканированием луча.

Работа антенной системы основана на принципе сканирования луча за счет изменения частоты сигнала в линейной решетке бегущей волны.



Приемная антенна РЛС «Дунай-3М» в Кубинке

Антенная система состоит из двух разнесенных антенн: передающей и приемной. Горизонтальный размер обеих антенн – около двухсот метров. Вертикальный – примерно тридцать метров – у передающей, и примерно сто метров – у приемной антенны.

Передающая антенна включает в себя 26 волноводно-щелевых излучающих линеек с замедляющей структурой, осуществляющих частотное сканирование луча в азимутальной плоскости. Сканирование луча в угломестной плоскости достигается путем фазирования усилителей мощности, питающих волноводно-щелевые линейки. Приемная антенна собрана из аналогичных 200 волноводно-щелевых линеек с замедляющей структурой, сопрягаемых с плоской

линзой «шнуркового» типа, формирующей 135 лучей. Система фиксированных лучей перекрывает требуемый сектор обзора в угломестной плоскости.

В середине 60-х годов система была введена в опытную эксплуатацию. Впоследствии вблизи г. Чехова был построен усовершенствованный образец РЛС «Дунай-3У» системы ПРО Москвы.

ЗАГОРИЗОНТНЫЕ РЛС

Задачу раннего предупреждения о пусках баллистических ракет с территории США на СССР пытались решить различными способами. Один из них – загоризонтная радиолокация, основанная на скачкообразном распространении радиоволн декаметрового диапазона за горизонт за счет их переотражения между землей и ионосферой. Для направленного излучения радиоволн этого диапазона необходимы антенны очень больших размеров.

В 1965 году было принято решение о создании экспериментального образца загоризонтной РЛС (ЗГРЛС) в окрестностях г. Николаева. Станция получила шифр 5Н77. Она предназначалась для отработки технических решений, исследований распространения радиоволн и обнаружения различных целей, в частности, пусков баллистических ракет с космодрома Байконур, находящегося на расстоянии одного скачка отраженной от ионосферы радиоволны.



Передающая антенна экспериментальной ЗГРЛС 5Н77 около г. Николаева

Антенны были сконструированы в КБРП. Они представляли собой вибраторные ФАР. Передающая антенна имела длину 200 м, высоту – 110 м. Приемная – длину 300 м, высоту – 140 м. Толстые широкополосные шунтовые вибраторы были выполнены из алюминия в виде проводочных сварных конструкций на каркасе. Вибраторы установлены на стальных мачтах. Электрическое управление луча осуществлялось с помощью коммутируемых линий задержки.



Приемная антенна экспериментальной ЗГРЛС 5Н77

В 1972 году было принято решение о создании боевых систем ЗГРЛС, и началось поэтапное строительство двух новых станций с антеннами ещё больших размеров. Приемные ФАР имели длину 500 м и высоту 250 м. Передающие ФАР – 300 м в длину и 140 м в высоту. Место установки первой ЗГРЛС – Чернобыль, второй – Комсомольск-на-Амуре.

ЗГРЛС, установленные в Чернобыле (рядом с АЭС) и в Комсомольске-на-Амуре, были ориентированы на север в сторону США и должны были служить для обнаружения пусков ракет. Станции были объединены в систему, получившую название «Дуга». Испытания станций были завершены в 1979 году.

В результате испытаний было установлено, что в условиях североширотных трасс при наличии постоянных возмущений ионосферы вероятность обнаружения стартов одиночных и групп ракет очень мала, а количество ложных тревог – велико.

Кроме того, мощное широкополосное излучение Чернобыльской РЛС создавало помехи различным радиосистемам в Европе.



Приемная позиция ЗГРЛС «Дуга» в Чернобыле

В 1986 году чернобыльская станция оказалась в зоне катастрофы на Чернобыльской АЭС, и работы на ней были прекращены.

К 1988 году в стране была создана космическая система раннего предупреждения, и от использования системы «Дуга» отказались.

РЛС «ДАРЬЯЛ»

В 1972 году было начато создание высокопотенциальной РЛС метрового диапазона «Дарьял». Семь таких станций планировалось установить по периметру страны для создания замкнутого радиолокационного поля системы предупреждения о ракетном нападении (СПРН). РЛС должна была иметь огромные мощности и обеспечивать обнаружение головных частей баллистических ракет на дальностях до 6000 километров. Главным разработчиком был определен Радиотехнический институт.

Станция состояла из приемной и передающей позиций. Основу каждой из них составляли активные ФАР (АФАР). Нашему предприятию было поручено конструирование передающей АФАР.



РЛС «Дарьял» на Печоре. Слева – передающая позиция, справа – приемная

Всего в передающей АФАР было установлено 1260 передающих модулей и 300 пассивных вибраторов. Антенна имела высоту около 60 метров, ширину – около 50 метров. Полотно АФАР было закрыто панельным радиопрозрачным укрытием (РПУ) разных конструкций для разных климатических зон расположения РЛС.

Конструкторская документация была разработана с учетом максимальной заводской готовности антенного полотна и минимальных монтажных и сварочных работ на технологическом сооружении передающего центра. Сборочные единицы антенного полотна поступали от смежников на ГРЗ для укрупнения до максимально допустимого проездного габарита. Укрупненные изделия отправлялись на объект монтажа в состоянии максимальной готовности. На объекте монтажа была создана технологическая площадка для укрупнения заводских единиц до максимальных размеров и веса, обеспечивающих возможность монтажа подъемными механизмами. Таким образом, при сооружении РЛС проводилось минимальное количество сварочных и монтажных работ. Это значительно сократило сроки монтажа и стоимость работ.

В 1983 году после успешных испытаний РЛС на Печоре была принята в эксплуатацию Министерством обороны.

В 1985 году была поставлена на боевое дежурство станция в Куткашене Азербайджанской ССР.

В связи с политическими событиями второй половины 80-х годов и последующим разрушением СССР строительство остальных станций «Дарьял» было прекращено.

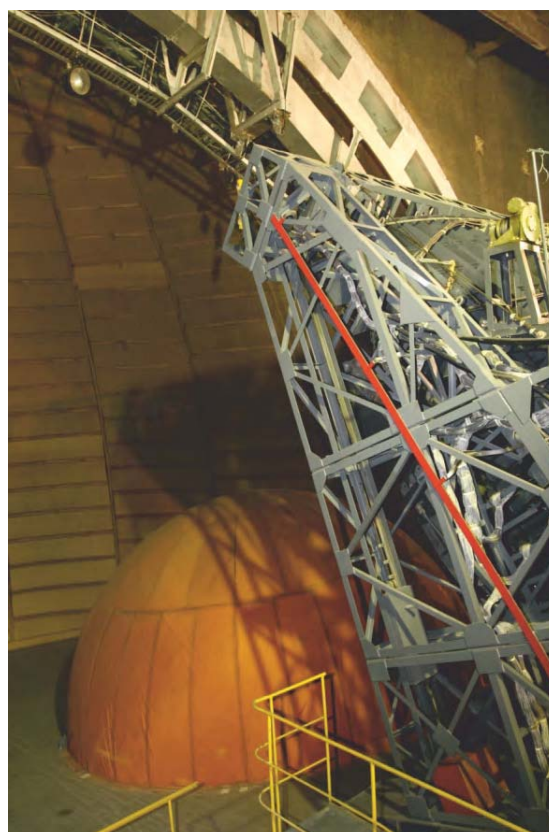
РЛС «НЕМАН»

Эта РЛС разрабатывалась в НИИРП как станция обнаружения, сопровождения и селекции баллистических целей и рассматривалась как один из вариантов стрельбового локатора для системы ПРО Москвы. Отличительные особенности этой РЛС S-диапазона – использование широкополосных сигналов и применение антенн с электрическим сканированием.

Экспериментальной образец станции был создан на полигоне Сары-Шаган в 1980 году.

КБРП занималось конструированием и созданием антенн.

Передающая антенна была выполнена в виде АФАР, состоящей из 960 рупорных излучателей с установленными в каждом канале усилителями на амплитронах. Диаметр апертуры составляет около 5 метров. Электронное сканирование луча обеспечивалось управляемыми фазовращателями.



Приемная антенна РЛС «Неман» с диэлектрической линзой

Приемная многолучевая антенна была выполнена на основе двух линз центральной симметрии из неоднородного диэлектрика (линз Люнеберга) диаметром 7,5 метров. Каждая линза выполнена в виде полушария, установленного на проводящем экране, и снабжена матрицей из 512 рупоров, подключенных к малошумящим усилителям. Луч переключался многоканальным р-і-п-диодным коммутатором. Матрицы рупоров формировали систему 1024 «вложенных» лучей с высокой плотностью расстановки.

РЛС «Неман» является уникальным примером станции с квазиоптической линзовой многолучевой антенной. Линзы с переменным показателем преломления было предложено выполнить в виде укладок из диэлектрических кирпичей с разным значением диэлектрической постоянной. В качестве диэлектриков использованы пенокерамика и пенополистирол. Для изготовления и сортировки кирпичей линзы по диэлектрической проницаемости в Сызранском СКТБ «Луч» была создана специальная технологическая линия.



Приемная позиция РЛС «Неман» на полигоне Сары-Шаган

Чтобы повысить прочность антенны, линзы выполнены в виде одинаковых полушарий, установленных на общем плоском стальном экране. Экран был набран из прецизионных полированных плит, размещенных на общей раме. Ориентация экрана производилась с помощью трех 300-тонных регулируемых домкратов. Защита приемной антенны обеспечивалась надутым РПУ.

В 1980 году РЛС «Неман» успешно прошла государственные испытания. При проведении конкурса на лучший стрельбовый локатор для ПРО Москвы, из представленных трех вариантов РЛС («Дон», «Неман» и «Истра-2») для дальнейших работ была выбрана станция «Дон».

РЛС «Неман» не получила дальнейшего развития и применения в боевых системах РКО. Она стала измерительным полигонным средством и до настоящего времени применяется для проводки баллистических ракет, запускаемых с полигона «Капустин Яр».

РЛС «ИСТРА» («АРГУНЬ»)

В 1966 году в ОКБ-30 (НИИРП) была начата работа по созданию экспериментальной РЛС «Истра», которая рассматривалась как возможный образец стрельбового радиолокатора системы ПРО Москвы А-135. Разработку возглавлял коллектив под руководством Толкачева А. А., который впоследствии был переведен в НИИ Радиофизики.

Таким образом, РЛС «Истра» не только сконструирована, но и разработана силами специалистов нашего предприятия.

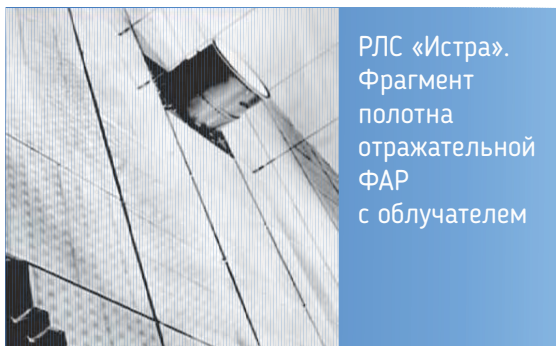
В РЛС «Истра» был применен целый ряд новых по тем временам технических решений:

- *отражательная фазированная антенная решетка, вращающаяся на поворотном устройстве по азимуту и углу места, включающая в себя около 10 тысяч полупроводниковых фазовращателей, работающая на прием и передачу;*
- *радиотракт, способный обеспечить передачу и одновременный прием двух ортогональных круговых поляризацій и измерение параметров поляризационной матрицы рассеяния наблюдаемых объектов;*
- *квантовый парамагнитный усилитель с рабочим телом и устройством защиты, работающими при гелиевых температурах и обеспечивающими входную шумовую температуру около 12 К;*



РЛС «Истра»

- основной зондирующий сигнал с линейной частотной модуляцией, девиацией 10 МГц и обработкой его на ультразвуковых линиях;
- комплекс универсальных вычислительных машин и цифровых специализированных устройств, обеспечивающих автоматическое управление станцией при обнаружении и сопровождении до 100 целей, а также цифровую обработку сигналов, начиная с формирования единичных измерений дальности и угловых координат до построения траекторий и распознавания наблюдаемых объектов.



РЛС «Истра». Фрагмент полотна отражательной ФАР с облучателем

РЛС «Истра» установлена на полигоне Сара-Шаган. После успешных заводских испытаний средств многоканального стрельбового комплекса противоракетной обороны, в процессе которых было установлено соответствие достигнутых характеристик требованиям Заказчика, было принято решение в 1975 году о переводе РЛС и командно-вычислительного пульта в измерительные средства полигона Сары-Шаган – комплекс «Аргунь-И».



Пульт управления РЛС «Истра»

В начале 1985 года сложилась нештатная ситуация на орбитальной станции «Салют-7». Радиотехническая аппаратура станции вышла из строя, была потеряна связь с Землей и возможность ее наблюдения штатными измерительными средствами. Перед разработчиками стояла задача оживления аппаратуры, с тем, чтобы предупредить неконтролируемое развитие событий путем стыковки ее с пилотируемым кораблем «Союз Т-13».

В течение 2-х месяцев было разработано и отлажено необходимое программно-алгоритмическое обеспечение, позволяющее измерять положение станции в системе координат корабля, налажена связь с ЦУП для передачи необходимой информации.

Как известно, стыковка корабля «Союз Т-13» и станции «Салют» была успешно проведена советским космонавтом Джанибековым В. А., и приятно сознавать, что в этом есть и наш вклад.

РЛС «ДОН-2Н»

Решение о создании РЛС сантиметрового диапазона «Дон-2Н» в качестве стрельбового радиолокатора системы ПРО Москвы было принято в результате конкурса, в котором участвовали несколько РЛС, включая РЛС «Неман» и РЛС «Истра». Станция «Дон-2Н» была разработана в РТИ. Антенны сконструированы в КБРП.

РЛС построена в подмосковном Софрино в период с 1979 по 1986 г. Радиолокатор размещен в здании, имеющем форму усеченной пирамиды, на гранях которой установлены приемные и передающие ФАР с широкоугольным электрическим сканированием луча. Такая архитектура РЛС позволяет вести быстрый обзор всей верхней полусферы.

ФАР построены по модульной схеме. Каждый модуль передающей ФАР содержит подрешетку, состоящую из более чем 150 излучателей с ферритовыми фазовращателями и системой жидкостного охлаждения. Подрешетки питаются от усилителей мощности многоканального передатчика через квазиоптические возбудители.

Приемная ФАР также построена по модульному принципу. В ней применены спиральные излучатели, р-і-п-диодные фазовращатели и сумматоры на радиальных линиях.



РЛС «Дон-2Н» в Софрино

Настройка и испытания антенн амплифазометрическим и облетным методами были организованы и проведены коллективом НИИРФ.

В 1996 году испытания станции были завершены, и она была принята на вооружение в составе системы ПРО Москвы А-135.

РЛС КОМПЛЕКСА «КРОНА»

С 1976 года началось проектирование радиооптического комплекса «Крона» для системы контроля космического пространства. Комплекс включал радиолокаторы целеуказания сантиметрового и дециметрового диапазонов и оптические средства для наблюдения спутников при подсветке их лазерным излучением. В ясную погоду он позволял наблюдать и фотографировать спутники в любое время суток.



РЛС с ФАР комплекса «Крона»

Радиотехническую часть комплекса было поручено разработать НИИДАР, конструирование антенн – КБРП.

Строительство комплекса «Крона» вблизи станции Зеленчукская на Северном Кавказе было начато в 1979 году и завершено к 1985 году. Затем комплекс был поставлен на боевое дежурство и находится в эксплуатации до настоящего времени.

КОРАБЕЛЬНАЯ РЛС «АТОЛЛ»

В 1977 году в СССР были развернуты работы по созданию многоцелевого информационно-разведывательного комплекса морского базирования «Коралл», который должен был стать средством национального контроля испытаний стратегических вооружений и средств ПРО США.



РЛС «Атолл» со снятым радиопрозрачным укрытием

Такой комплекс был необходим для наблюдения пусков ракет на полигонах США, один из которых расположен на тихоокеанском атолле Кваджалейн.

Ключевым средством комплекса стала РЛС сантиметрового диапазона «Атолл», разработку которой выполнил НИИРП. Конструирование антенного устройства было поручено НИИРФ.

Антенная система РЛС представляла собой ФАР из 18,5 тысяч излучателей, установленную на опорно-поворотном устройстве, что позволяло сочетать электрическое сканирование луча с механическим поворотом. Такая система обеспечивала точное измерение координат цели

во всей верхней полусфере в условиях качки корабля. Антенна размещена под радиопрозрачным укрытием диаметром 19 м.

В 1988 году испытания комплекса успешно завершились, а в 1989 году корабль был отправлен в порт приписки Владивосток.



Корабль «Урал» с радиотехническим комплексом «Коралл», включающим РЛС «Атолл»

■ АНТЕННЫ СПУТНИКОВЫХ РЛС

РЛС «ЧАЙКА»

В 1969 году в СССР была начата разработка системы морской комплексной разведки и целеуказаний (МКРЦ), включающей в себя космические аппараты активной локационной разведки с мощными атомными энергетическими установками и РЛС бокового обзора.



Спутник серии «Космос» с волноводно-щелевой решеткой РЛС бокового обзора «Чайка»

Разработка космического аппарата (КА) была поручена ЦКБМ (впоследствии НПО машиностроения). Радиолокационный комплекс 4-сантиметрового диапазона, получивший название «Чайка», создавался в НИИ-17 (ныне АО Концерн «Вега»).

Конструкцию антенны, часть технологического и эксплуатационного оборудования разрабатывали в КБРП.

РЛС «Чайка» была принята на вооружение в 1975 году и успешно эксплуатировалась на большом количестве космических аппаратов. Всего серийным заводом было выпущено 28 комплектов этой РЛС. Они были запущены на орбиту в период с 1975 до 1988 года и несли боевое дежурство.

Во время Фолклендского кризиса (1979 г.) с помощью этого комплекса была получена информация, позволившая предупредить действия английской эскадры в Атлантическом океане.

РЛС «МЕЧ»

В 1966 году было начато проектирование радиолокатора 10-сантиметрового диапазона «Меч» для пилотируемой орбитальной станции «Алмаз». Это был радиолокатор с синтезированной апертурой (РСА), позволяющий получить детальное радиолокационное изображение земной поверхности с разрешением 15–20 метров в зоне захвата около 20 км.

В отличие от некогерентной РЛС «Чайка», в РСА «Меч» при движении космического аппарата проводились измерения и запись амплитуд и фаз отраженных от земной поверхности сигналов с их последующей обработкой. Таким образом, формировалась синтезированная апертура антенны, в тысячи раз большая ее физического размера.

Антенна РСА представляла собой волноводно-щелевую решетку размерами 15x1,5 м и состояла из трех панелей, последовательно раскрывающихся в космосе. Для расширения зоны обзора на станции установлены две антенны.



Станция «Алмаз». По бортам установлены две трехсекционные волноводно-щелевые антенны РЛС «Меч»

Станция «Алмаз» прошла наземные испытания в 1978 году, однако запуск станции состоялся лишь в 1987 году. Всего было запущено три станции «Алмаз», которые позволили провести большие объемы измерений для картографирования земной поверхности в интересах отечественных и зарубежных заказчиков.



Станция «Алмаз» в павильоне ВДНХ.
Волноводно-щелевые антенны радиолокатора обзора Земли «Меч»,
сконструированные в КБРП, установлены на боковой поверхности станции

■ СИБИРСКИЙ СОЛНЕЧНЫЙ РАДИОТЕЛЕСКОП

В начале 70-х было принято решение о разработке в КБРП по заданию Сибирского института земного магнетизма и распространения радиоволн Академии Наук СССР конструкторской документации на антенную систему Сибирского солнечного радиотелескопа (ССРТ).

Антенна ССРТ представляет собой совокупность двух линейных антенных решеток, каждая из которых содержит 128 элементов, расположенных

под прямым углом друг к другу. Единичный элемент выполнен в виде зеркальной антенны диаметром 2,5 метра, и расположен на опорно-поворотном устройстве.

Строительство радиотелескопа было завершено в 1980 году, эксплуатация начата в 1981 году. С помощью ССРТ в течение нескольких десятилетий ведутся наблюдения за радиоизлучением Солнца.



Антенна Сибирского солнечного радиотелескопа в Саянах

■ ИЗМЕРЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК АНТЕНН РЛС

В 60-е – 80-е годы коллектив КБРП принимал участие в работах по настройке и измерениям аппаратуры РЛС при её изготовлении на заводах кооперации и монтаже на объектах.

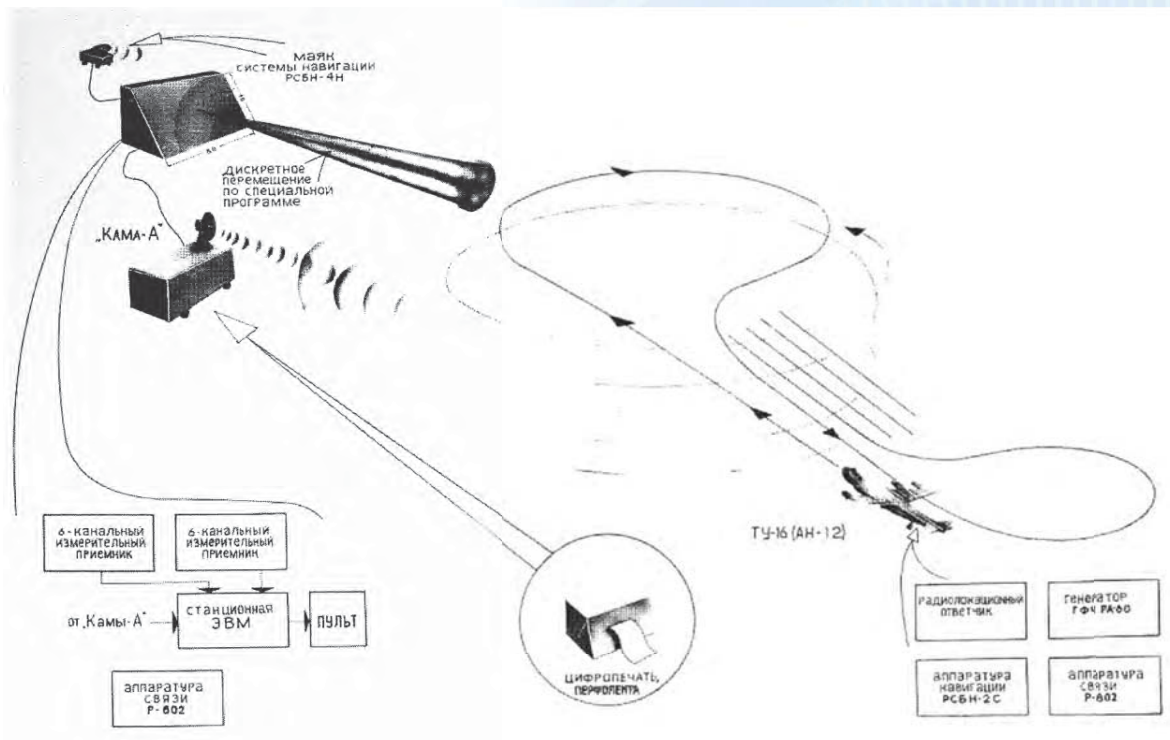
Были разработаны несколько измерительных комплексов различных частотных диапазонов. Так, для измерений РЛС «Дунай-3У», «Неман», «Дуга», «Дарьял» были созданы комплексы для измерений РЛС в дальней зоне.

Для РЛС «Дон-2НП» был создан измерительный комплекс, основанный на измерениях ближнего

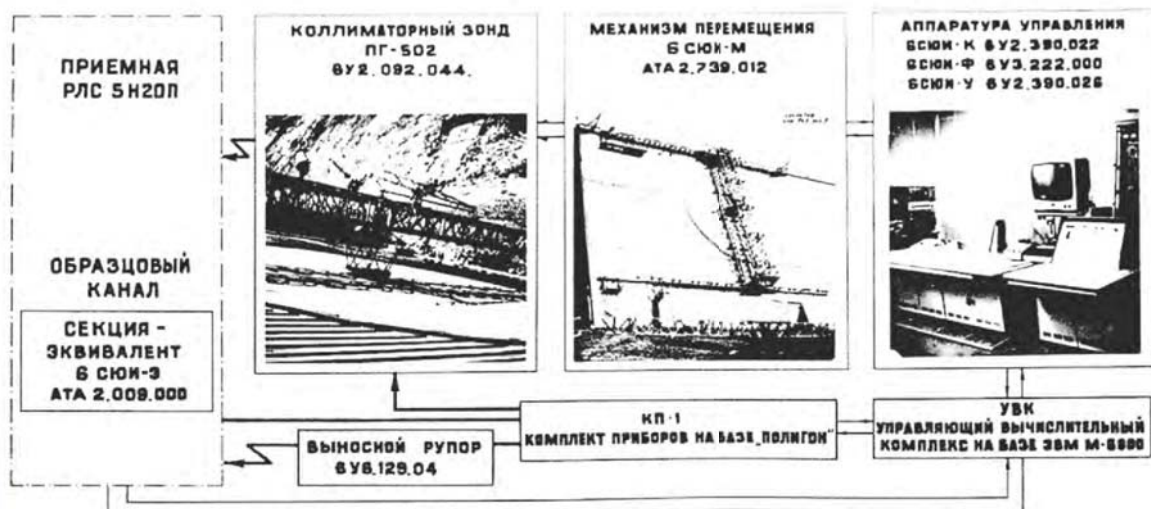
поля с последующим восстановлением характеристик в дальней зоне.

Примеры некоторых измерительных комплексов и измерений антенных характеристик с их помощью приведены на рисунках.

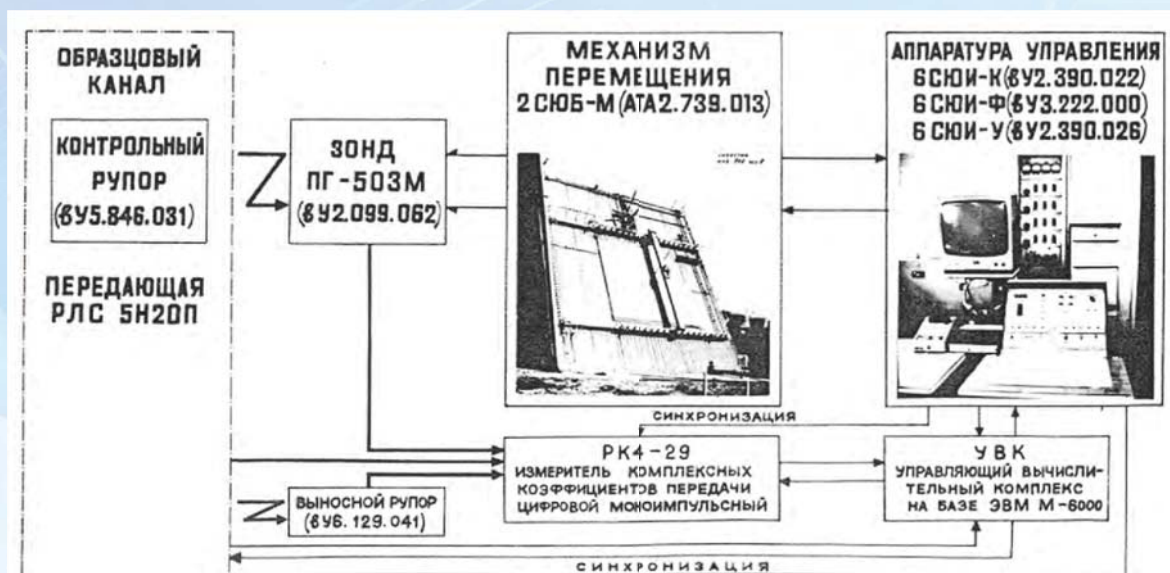
В ходе выполнения указанных измерений были проведены десятки НИР и ОКР, направленных на разработку методов измерений, аппаратуры, программ и методик метрологической аттестации измерительных комплексов.



Измерительный комплекс и схема облёта РЛС «Дунай -3У»



Планарный сканер для измерения поля в раскрыве приемной ФАР РЛС «ДОН-2НП»



Планарный сканер для измерения поля в раскрыве передающей ФАР РЛС «ДОН-2НП»

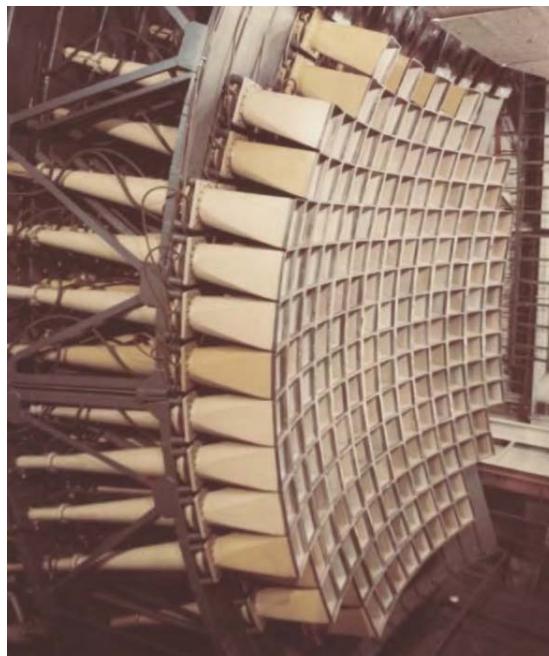
■ НИИ РАДИОФИЗИКИ. СВЧ-ЭНЕРГЕТИКА. РАДИОЛОКАЦИЯ МИЛЛИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА

В 1970 году в Министерстве радиопромышленности было создано головное по системам ПРО Центральное научно-производственное объединение (ЦНПО) «Вымпел». В него вошли несколько отраслевых НИИ, а также КБРП, несколько специализированных заводов и ряд других предприятий. Силами ЦНПО и предприятий кооперации были созданы многие системы ПРО. КБРП активно участвовало в создании многих из них.

Одновременно с классическими вариантами систем ПРО со временем стали возникать различные неординарные варианты решения проблемы ПРО, появившиеся в связи с быстрым усложнением задачи обороны, прежде всего, из-за совершенствования средств защиты баллистических ракет и их головных частей.

В 1980 году в КБРП были переданы работы по мощной СВЧ-энергетике, а также переведен из НИИРП занимающийся этой тематикой коллектив во главе с Ушаковым О. А. Этим работам, нацеленным в перспективе на поражение боевых блоков баллистических ракет СВЧ-пучками, в те годы придавалось очень большое значение. В них участвовали институты министерства радиопромышленности и Академии наук. Физические исследования выполнялись под научным руководством академика Прохорова А. М. – лауреата Нобелевской премии, директора Института общей физики АН СССР. В рамках выполнения этих работ была создана экспериментальная установка TOP-1 для фокусировки мощного СВЧ-излучения в вакуумную камеру. Излучение фокусировалось решеткой, подключенной к многоканальному передатчику. Эту решетку разработали в антенном отделе КБРП.

В 1981 году КБРП было преобразовано в отраслевой НИИ радиофизики (НИИРФ), который был определен головным предприятием по СВЧ-энергетике. В НИИРФ были организованы крупные научно-исследовательские отделения: тематическое, конструкторское, несколько отраслевых.

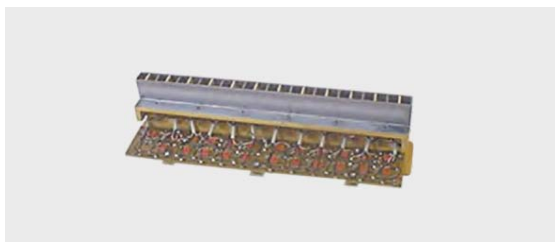


Установка высокого уровня мощности «TOP-1» с фокусирующей решеткой

В течение нескольких лет институт разработал экспериментальный комплекс с модульной ФАР для излучения управляемых пучков СВЧ-энергии и создал опытный образец антенной секции для этого комплекса.



Передающая антенная секция ФАР комплекса 90М6 с излучающей структурой для сканирования в ограниченном секторе углов



Линейка из 12 ферритовых фазовращателей-излучателей для передающей ФАР

В течение нескольких лет институт разработал экспериментальный комплекс с модульной ФАР для излучения управляемых пучков СВЧ-энергии и создал опытный образец антенной секции для этого комплекса.

С началом перестройки из-за недостатка финансирования эти работы были значительно ограничены. Однако технические решения и аппаратура ФАР, разработанные для данной системы, впоследствии были успешно применены в других системах.

Другая тематика, развившаяся под руководством О. А. Ушакова, – радиолокация миллиметрового диапазона волн (ММВ). В рамках разработки космической локационной станции ММВ для систем предупреждения о ракетном нападении был создан космический радиометр диапазона 55–65 ГГц, имеющий сто частотных каналов.



Антенна космического радиометра миллиметрового диапазона волн (55 – 65 ГГц)

Опыт создания аппаратуры ММВ впоследствии был использован в других системах миллиметрового диапазона.

НИИ РАДИОФИЗИКИ – ГОЛОВНОЙ ИНСТИТУТ ПО РЛС МИЛЛИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА

В 1986 году, после смерти директора института Бубнова, по решению руководства Министерства радиопромышленности работы, связанные с СВЧ-энергетикой, были переданы в другой институт. Туда же был переведен коллектив тематического подразделения, занимающегося СВЧ-энергетикой.

В НИИРФ была переведена большая группа сотрудников НИИ радиоприборостроения – около 300 человек во главе с Толкачёвым А.А., назначенным главным конструктором и научно-техническим руководителем НИИРФ. Эта группа, состоявшая из тематиков и отраслевиков, имела тридцатилетний опыт создания радиосистем, в том числе установок РЭ и РЭ-2 для измерения ЭПР головных частей ракет, экспериментальной системы ПРО «А», одной из первых больших РЛС с ФАР «Истра» и большой РЛС с ФАР ММВ «Руза», разработка и испытания которой были завершены уже в рамках НИИРФ.

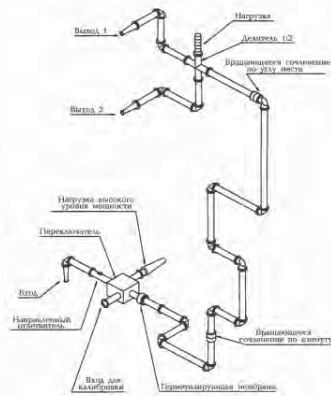
Эта последняя работа, выполненная с использованием задела НИИРФ в области миллиметрового диапазона радиоволн, в значительной мере повлияла на преобразование НИИРФ в головной институт Минрадиопрома по миллиметровой радиолокации. Директором НИИ радиофизики стал Петросов В.В.



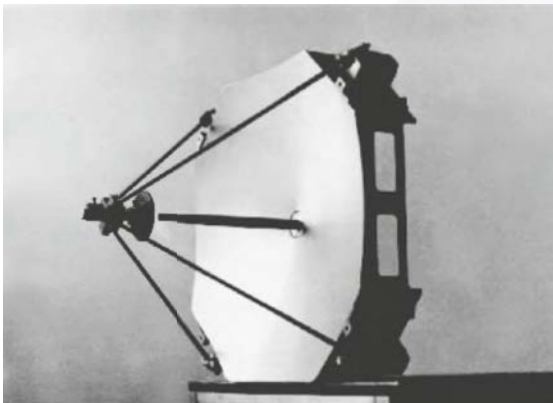
РЛС «Руза» (ФАР на фоне радиопрозрачного укрытия)

Основной работой в 1987 – 1989 гг. было завершение создания мощной экспериментальной РЛС ММВ «Руза». В 1989 году станция была введена в строй на полигоне Сары-Шаган около озера Балхаш, успешно прошла конструкторские испытания и стала первой в мире мощной РЛС ММВ с ФАР и передающим устройством на базе гиросприборов.

Таким образом, благодаря проведенной совместной разработке РЛС «Руза», предприятие превратилось в системный институт.



Фидерный тракт высокого уровня мощности РЛС «Руза» на сверхразмерном круглом волноводе



Излучающий элемент РЛС «Руза» (крупногабаритный излучатель)



Элементы на сверхразмерном круглом волноводе РЛС «Руза»

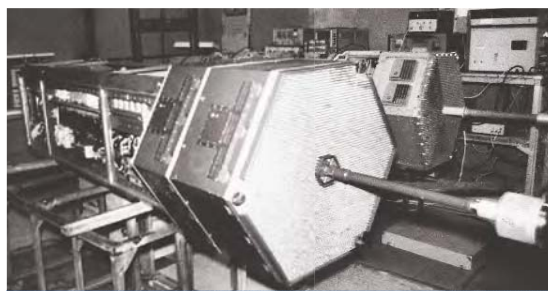


Картина Макоты В. А. Сары-Шаганский полигон, вид на 38-ю площадку с берега озера Балхаш. В центре виден жилой городок, справа радиопрозрачные укрытия станций «Аргунь», «Руза» и РЭ-2

Одновременно с работами по РЛС «Руза» были начаты разработки РЛС ММВ «Самара» и «Угра» для стрельбовых комплексов с электрическим сканированием в широком секторе углов и многоканальными передатчиками на основе ЛБВ и клистронов.



3-D Модель РЛС «Самара»



Приемо-передающий фазированный антенный модуль (ППФАМ) РЛС «Самара»

Главным конструктором была предложена концепция создания разных РЛС ММВ из унифицированных приемо-передающих фазированных антенных модулей.

В 1992-1993 годах из-за отсутствия финансирования работы по созданию РЛС ММВ на предприятии были надолго прекращены.



Двухдиапазонный радиолокационный комплекс. Слева – радиолокатор «Истра», справа – «Руза»

■ ПОБЕДА В БОРЬБЕ ЗА ВЫЖИВАНИЕ

АО «РАДИОФИЗИКА»

В 1990 – 1992 годах ситуация в стране кардинально изменилась. Изменилась и сама страна. Начались «лихие девяностые». В это время предприятия оборонного комплекса перестали финансироваться в достаточной степени, многие проекты были закрыты, произошел существенный отток кадров. Появились кооперативы, малые предприятия, куда, в надежде на лучшее будущее, активно устремились как сотрудники предприятий, так и выпускники вузов. В 1991–2000 годах из института ушли многие работники, и его численность сократилась с двух до одной тысячи человек. Примечательно, что большая часть наиболее квалифицированных специалистов осталась. Фактически прекратились работы по государственным заказам. Закрылись объекты НИИРФ на полигоне Сары-Шаган. Новые коммерческие работы были малобюджетны и рассчитаны на участие небольших, часто не связанных между собой коллективов подразделений института.

Основной задачей предприятия стало сохранение технологического задела: коллектива, оборудования и материальных активов, в надежде на то, что смутные времена пройдут, и возможности предприятия будут востребованы. В решение этой непростой задачи значительный вклад внёс Генеральный директор Петросов В.В.

В 1993 году НИИРФ был преобразован в акционерное общество «Радиофизика». Предприятие стало усиленно искать новые направления, где можно было заработать и поддержать таким образом коллектив.

Одним из таких направлений стало создание устройств и систем спутниковой связи. Это, новое для АО «Радиофизика», направление развивалось по пути создания станций спутниковой и радиорелейной связи, разработки и внедрения сетей фиксированной связи.

Были созданы земные станции спутниковой связи, работающие в диапазонах частот 4/6 ГГц и 11/14 ГГц. Несмотря на то, что это направление в СССР традиционно развивалось усилиями предприятий Министерства связи и Министерства промышленности средств связи, ОАО «Радиофизика» сумело достаточно быстро выйти со своими разработками на этот рынок и занять достойное место.



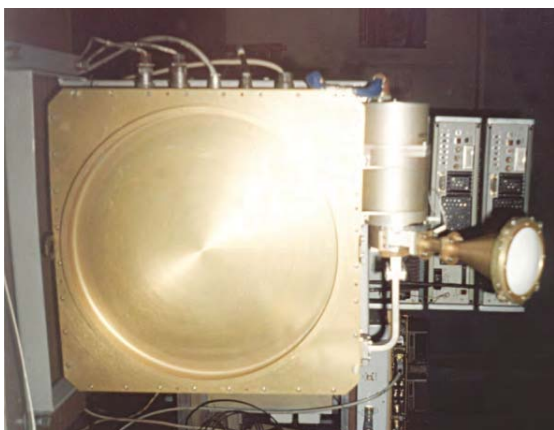
Центральная станция спутниковой связи с антенной диаметром 7 м



Станция спутниковой связи, г. Артем



Станция спутниковой связи. Мыс Шмидта



Передающий модуль разгонного блока «Бриз», выводящего спутники на геостационарную орбиту



Складная офсетная зеркальная антенна с рефлектором диаметром 2,4 м для мобильных станций спутниковой связи



Запуск спутника связи ракетой «Протон». Предполетная проверка спутника выполнена с помощью оборудования АО «Радиофизика»



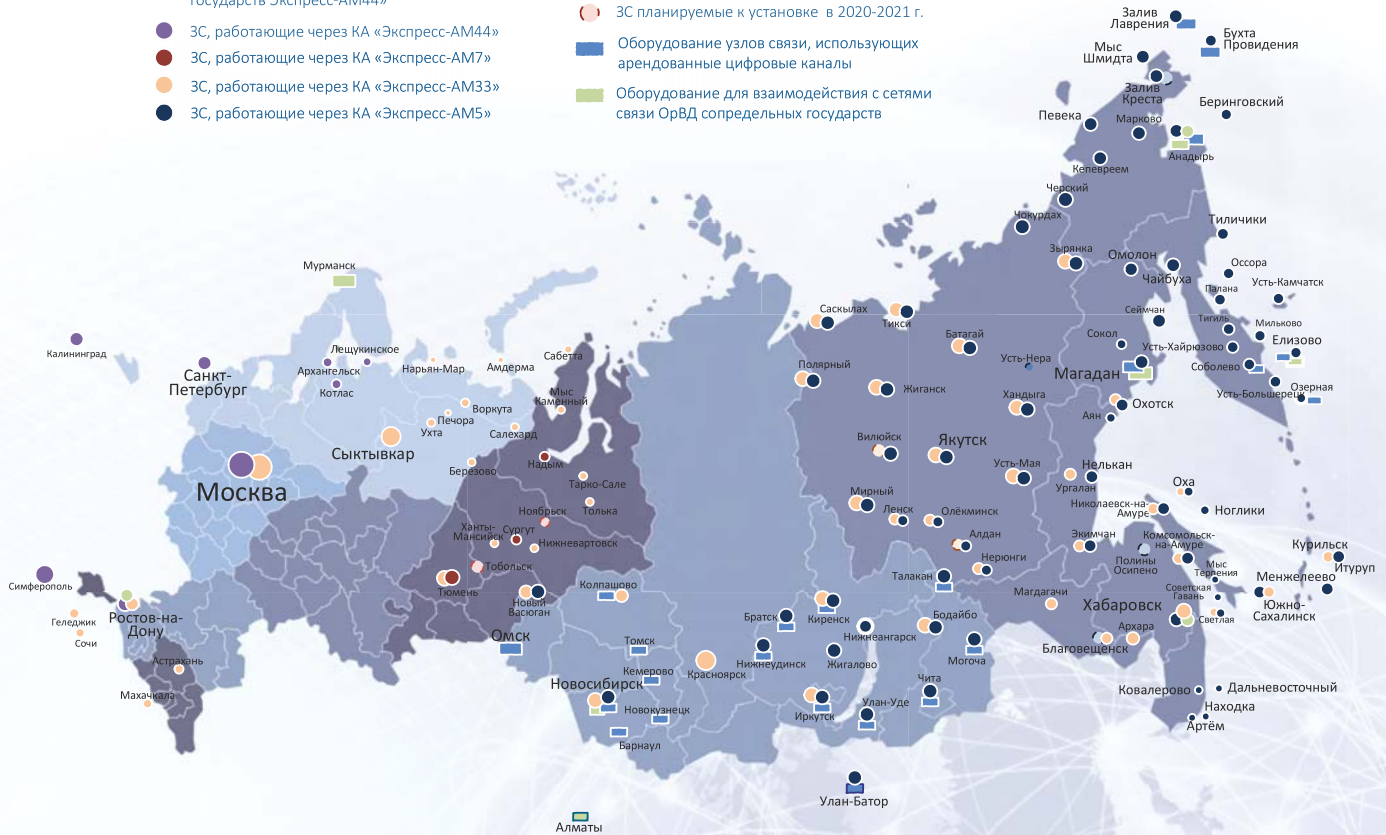
Антенна с рефлектором 1,8 м для спутниковой связи в Ku-диапазоне

Предприятием создана сеть авиационной фиксированной спутниковой связи (АФСС) по заказу «Государственной корпорации по организации воздушного движения в Российской Федерации».

Сеть включает в свой состав более 150 станций спутниковой связи, являясь одной из самых крупных и современных в стране и продолжая активно развиваться.

Условные обозначения

- ЗС, работающие через КА иностранных государств Экспресс-AM44
- ЗС, работающие через КА «Экспресс-AM44»
- ЗС, работающие через КА «Экспресс-AM7»
- ЗС, работающие через КА «Экспресс-AM33»
- ЗС, работающие через КА «Экспресс-AM5»
- ЗС планируемые к установке в 2020-2021 г.
- Оборудование узлов связи, использующих арендованные цифровые каналы
- Оборудование для взаимодействия с сетями связи ОрВД сопредельных государств

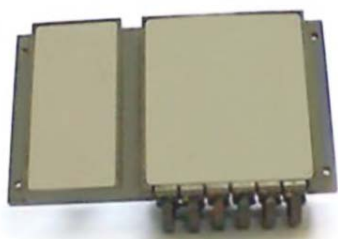


Сеть авиационной фиксированной спутниковой связи ОрВД

КОММЕРЧЕСКИЕ РАБОТЫ

После 1993 года АО «Радиофизика» и его малые дочерние предприятия выполнили большой объем работ по контрактам с организациями разных стран. В частности, в 1997 - 1999 гг. по заказу южнокорейской компании LG была разработана многолучевая антенна для автомобильного радиолокатора диапазона 76 ГГц.

В антенне применены печатные линейные подрешетки и диаграммоформирователь на основе волноводной линзы.



Антенна для автомобильного радиолокатора диапазона 76 ГГц

Еще одно направление, получившее развитие на предприятии, – цифровые устройства управления и обработки сигналов, применение которых позволяет существенно повысить возможности РЛС различного назначения, а также станций систем связи.

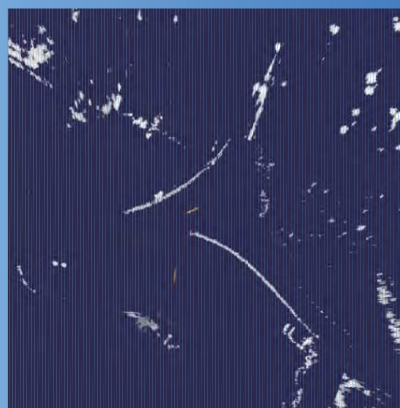
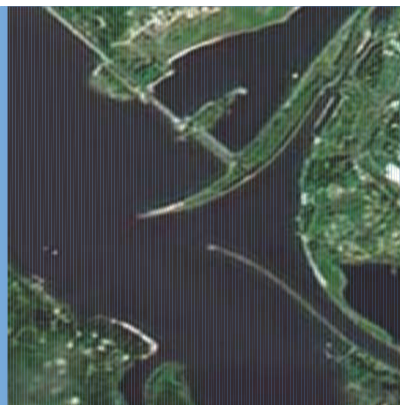
Одним из первых устройств такого рода на предприятии был радар-процессор для морских обзорных РЛС, созданный в 1997 году. Он успешно прошел испытания в составе РЛС «Арго». На его основе был разработан унифицированный ряд радар-процессоров коммерческого и специального назначений.

Впоследствии работы в этом направлении на предприятии были продолжены: разработаны устройства формирования и обработки сверхширокополосных сигналов, в том числе сигналов с линейной и нелинейной частотной модуляцией, многоканальные устройства для управления фазированными антенными решетками, устройства отображения радиолокационной информации.



«Цифровая» РЛС «Арго»

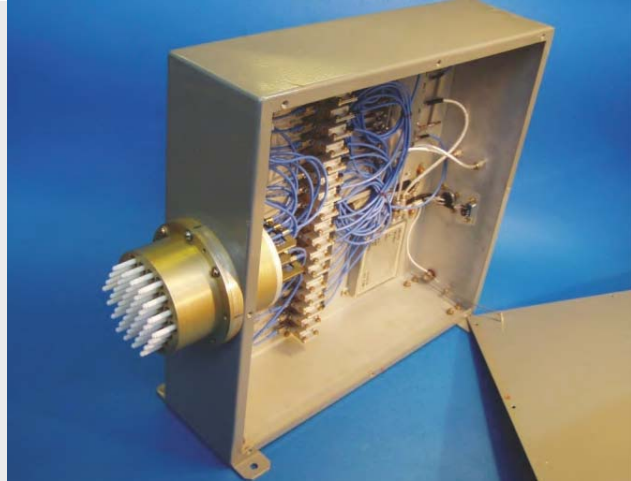
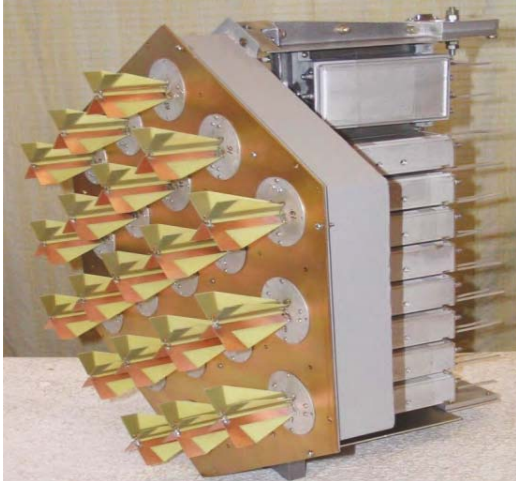
Неотъемлемой частью этих устройств является программно-алгоритмическое обеспечение (ПАО), которое решает целый ряд разнообразных задач контроля и управления аппаратурой формирования и обработки сигналов, обнаружения и сопровождения объектов, отображения информации и передачи ее периферийным устройствам.



Радиоизображение полигона «Большая Волга» на мониторе РЛС «Арго» и соответствующая космическая съёмка

В 2001 – 2004 гг. по заказу южнокорейского института ETRI были разработаны образцы многолучевых активных ФАР с цифровым диаграммоформированием для различных систем связи, позволяющие повысить эффективность этих

систем, в том числе увеличить количество пользователей за счет большей помехозащищенности и гибкого перераспределения энергетических ресурсов системы.



Антенные решётки с цифровым диаграммоформированием диапазонов 2 ГГц и 30 ГГц (2003 г)



Визит делегации во главе с Толкачевым А.А. в Нанкинский институт, КНР, 1996 г.

■ НАЧАЛО XXI ВЕКА, НАДЕЖДЫ И ДОСТИЖЕНИЯ

В период с 2000 по 2010 год предприятие возобновило работы по заказам оборонного назначения, связанным с основной тематикой – созданием радиосистем с ФАР.

Разработки новых сложных радиосистем по государственным заказам стали хорошей основой для дальнейшего развития предприятия, роста его технологических и производственных возможностей, повышения квалификации работников, пополнения коллектива молодыми кадрами.

РЛС МИЛЛИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА ВОЛН

В 2000 году на предприятии было начато проектирование новой РЛС миллиметрового диапазона МРФ1 для перспективного комплекса ПВО малой дальности «Панцирь-С1».

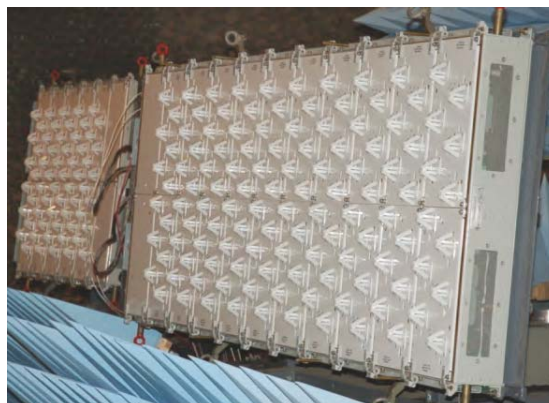


Топчиев С.А. на испытаниях РЛС МРФ-1

Работы выполнялись по заказу КБ приборостроения из Тулы. При её разработке был использован задел, сохранившийся от станции «Самара».

После полигонных испытаний работы по РЛС МРФ1 станция была передана заказчику.

АФАР СИСТЕМЫ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ L-ДИАПАЗОНА



Передающая и приемная АФАР станции спутниковой связи самолетного базирования

В 2002 году предприятие приступило к разработке АФАР самолетной станции системы спутниковой связи L-диапазона. Главным разработчиком станции было определено АО «ОНПЦ».

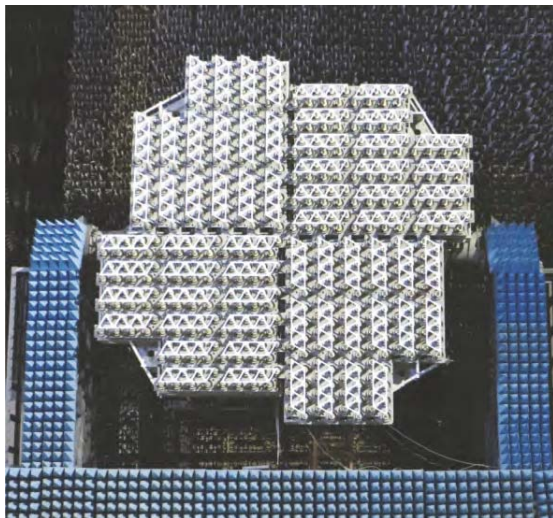


Самолет Президента России. Под радиопрозрачным укрытием на фюзеляже установлены АФАР

Были изготовлены несколько таких АФАР. Они используются для обеспечения спутниковой связи на самолетах правительственного авиаотряда.

РАДИОТЕХНИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ПРИЕМА ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

Радиотехнический комплекс (РТК) для приема информации в S-диапазоне предназначен для корабля национального контроля «Маршал Крылов». РТК содержит АФАР, состоящую из 512 каналов. Она выполнена из четырех подрешеток, что позволило существенно снизить уровень интерференционных боковых лепестков, возникающих при сканировании.



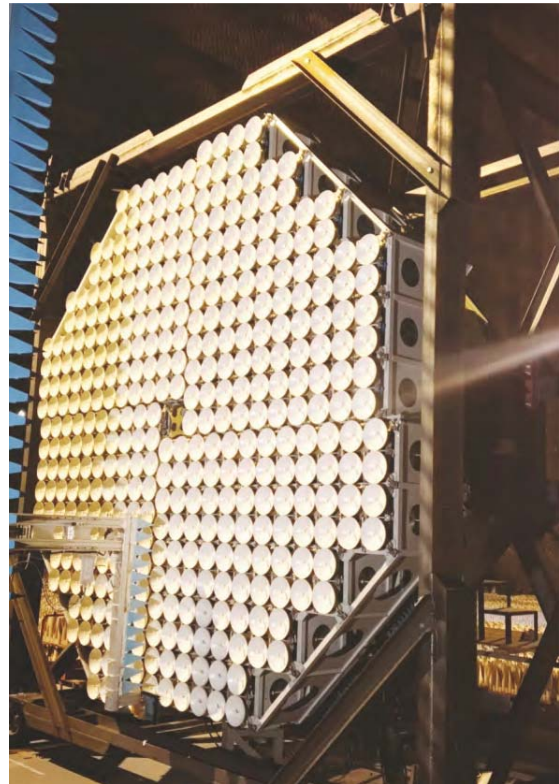
Приемная АФАР РТК на измерениях в БЭК

РЛС КА-ДИАПАЗОНА ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ И СОПРОВОЖДЕНИЯ ОБЪЕКТОВ

На корабле «Маршал Крылов» установлена также РЛС Ка-диапазона с фазированной антенной решеткой из крупно-апертурных излучателей для обнаружения и сопровождения объектов.



Корабль национального контроля
«Маршал Крылов»



ФАР РЛС Ка-диапазона
на измерениях у сканера в БЭК

При относительно небольших размерах эта РЛС обеспечивает малые погрешности определения угловых координат, сопоставимые с погрешностями оптических средств, и, в отличие от оптических средств, позволяет измерять дальности до объектов с высокой точностью.



Монтаж РЛС Ка-диапазона
на корабле «Маршал Крылов»

■ РАДИОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ С ЦИФРОВЫМИ АФАР

ЦИФРОВЫЕ АФАР – НОВЫЙ ЭТАП РАЗВИТИЯ РАДИОЛОКАЦИИ

В последнее десятилетие предприятие занимается созданием радиосистем с цифровыми АФАР (ЦАФАР). Это принципиально новый этап развития радиосистем. Отличительной особенностью ЦАФАР является аналого-цифровое преобразование сигнала в каждом приёмном канале и цифро-аналоговое преобразование – в каждом передающем канале. Диаграммы направленности формируются путем обработки потоков цифровой информации, а антенное устройство РЛС, за исключением оконечных СВЧ-элементов, представляет собой сетевое вычислительное устройство.

РЛС нового поколения с ЦАФАР имеют большие информационные возможности по сравнению с РЛС предыдущих поколений, в том числе:

- *большую дальность за счёт высокого энергетического потенциала;*
- *многофункциональность, то есть решение одновременно нескольких задач;*
- *помехозащищенность за счет адаптивного формирования нулей ДН;*
- *увеличение в несколько раз числа обслуживаемых целей за счёт формирования многих лучей;*
- *адаптивное управление энергетическими ресурсами РЛС, то есть перераспределение излучаемой мощности между лучами;*
- *радиопортретирование объектов в широком секторе сканирования, в том числе, за счёт формирования разных сигналов;*
- *повышение возможностей селекции и распознавания целей путем сочетания доплеровских и поляриметрических режимов.*

Значительную часть этих особенностей имеют и создаваемые предприятием радиотехнические

комплексы (РТК) с ЦАФАР для приема телеметрической информации от различных объектов.

Наряду с тщательной тематической проработкой архитектуры РЛС с ЦАФАР, важными этапами создания РЛС являются разработка приемопередающих модулей и устройства пространственно-временной обработки.

Сложность модуля ЦАФАР намного выше, чем модуля классической аналоговой АФАР, так как в нем, наряду с традиционными, нужно разместить устройства аналого-цифрового и цифро-аналогового преобразования (АЦП и ЦАП). В настоящее время АЦП и ЦАП с приемлемым для радиолокационных систем динамическим диапазоном могут работать на частотах до единиц гигагерц. Частоты большинства радиолокационных диапазонов выше этих значений, что приводит к необходимости установки в приемопередающем модуле преобразователей частоты.

Таким образом, приемопередающий модуль становится сложным изделием, в котором должны быть объединены усилители мощности, МШУ, преобразователи частоты, АЦП и ЦАП, устройства управления и электропитания.

Что касается системы пространственно-временной обработки, то она должна выполнять следующие функции:

- *собирать цифровую сигнальную информацию с приемопередающих модулей;*
- *формировать диаграммы направленности в различных угловых направлениях;*
- *производить полосовую и согласованную фильтрацию сигналов;*
- *осуществлять пороговое обнаружение и формирование единичных замеров.*

Осуществление этих функций в крупноапертурных многофункциональных радиосистемах

с ЦАФАР требует наличия у системы пространственно-временной обработки существенных вычислительных ресурсов, а также возможности поддержки большого количества высокоскоростных интерфейсов передачи данных. Так, скорость передачи данных между узлами РЛС с ЦАФАР может достигать десятков и сотен гигабит в секунду, а количество операций, которые должна выполнять система пространственно-временной обработки, может достигать десятков терафлопс. Вопросы скоростной передачи информации хорошо решены в области телекоммуникаций, но эти решения по разным причинам не могут напрямую использоваться при построении РЛС и РТК.

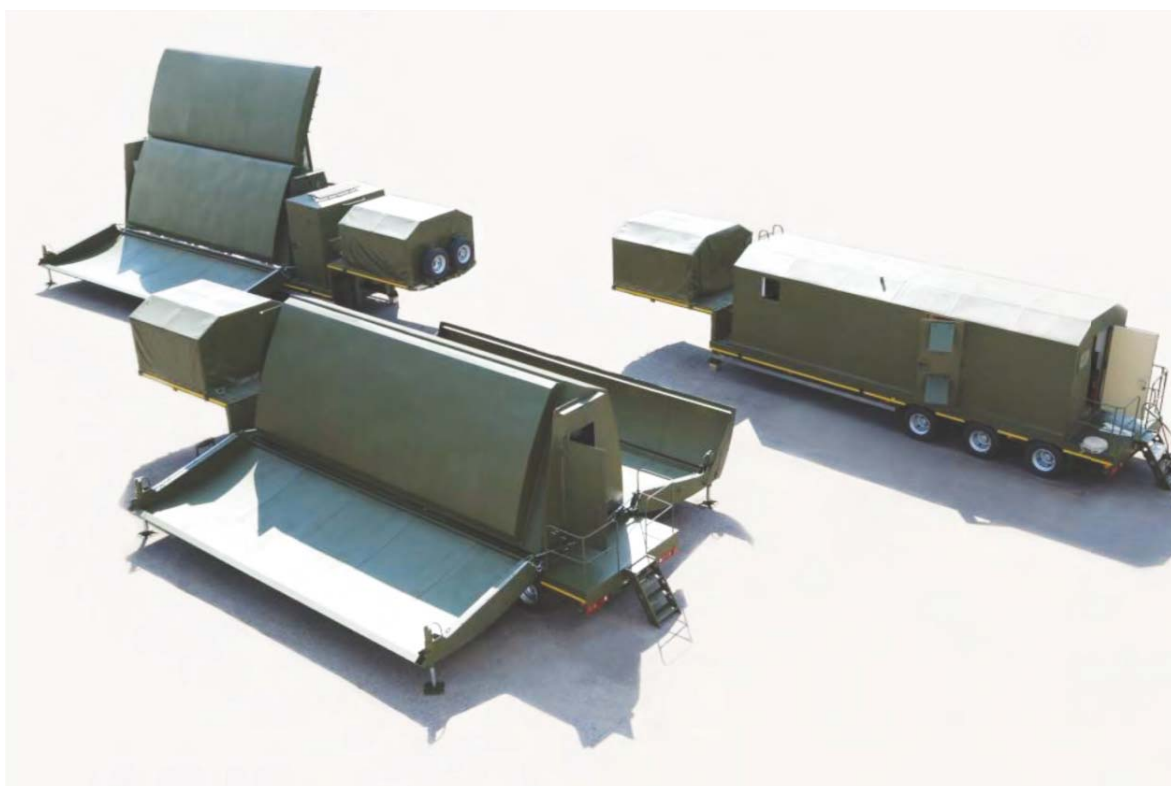
Практика показала, что эффективным техническим решением для создания высокопроизводительных распределенных вычислительных систем является использование программируемых логических интегральных схем (ПЛИС), разные модификации которых используются как в цифровых модулях, так и в системах пространственно-временной обработки.

РЛС «ДЕМОНСТРАТОР»

Важным этапом развития технологий ЦАФАР в ПАО «Радиофизика» является разработка многофункциональной мобильной РЛС наблюдения Р-диапазона – «Демонстратор». В этой РЛС впервые на нашем предприятии были созданы приемная и передающая многоэлементные ЦАФАР.

Станция была продемонстрирована на выставке «МАКС-2013». РЛС создавалась как стенд для отработки технологии ЦАФАР, а также как обзорный радиолокатор, имеющий самостоятельное значение.

Разнесение приёмной и передающей антенн РЛС и, как следствие, возможность непрерывного излучения позволяет в полной мере реализовать энергетический потенциал передающих модулей при условии одновременного приёма сигнальной информации с большого количества угловых направлений многолучевой приемной антенной.



РЛС «Демонстратор»:
передающий пост, приемный пост, командно-вычислительный пункт

В передающей ЦАФАР установлены 128 вибраторных излучателей и столько же цифровых передающих модулей с выходной мощностью 300 Вт.



Антенное полотно передающего поста РЛС «Демонстратор» без укрытия

Приемная ЦАФАР содержит 256 активных турникетных вибраторов, позволяющих принимать две ортогональные линейные поляризации, и 128 подключенных к ним четырехканальных приемных цифровых модулей.

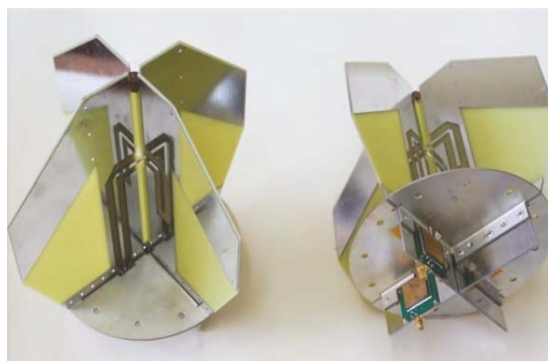
Процессор пространственно-временной обработки сигналов представляет собой распределенную вычислительную систему, состоящую из нескольких блоков пространственной обработки (БПО) и блока временной обработки (БВО).

БПО осуществляют сбор информации от приемных модулей, преобразование частоты и полосовую фильтрацию принятой сигнальной информации, а также формирование связок диаграмм направленностей.

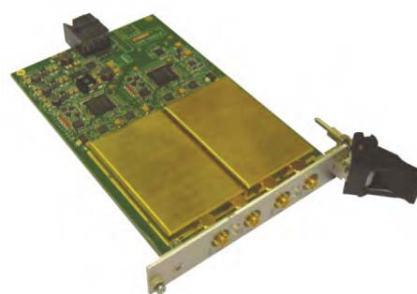
Окончательная обработка осуществляется в БВО.



Модули в полотне передающей ЦАФАР



Излучатель приемной ЦАФАР



Модуль приемной ЦАФАР



Процессор пространственно-временной обработки информации



В командно-вычислительном пункте РЛС «Демонстратор»

ОБЗОРНАЯ РЛС С КРУПНОАПЕРТУРНЫМИ ЦАФАР

На основе опыта, полученного при создании РЛС «Демонстратор», разработан и создан радиолокатор Р-диапазона для обзора пространства.

При его создании использованы следующие технические решения, определившие облик изделия в целом:

- РЛС выполнена в виде разнесенных на местности передающего и приемного постов;

- антенны приемного и передающего постов выполнены в виде ЦАФАР;



Передающий пост обзорной РЛС Р-диапазона

ОБЗОРНАЯ РЛС С КРУПНОАПЕРТУРНЫМИ ЦАФАР

- зондирование производится в непрерывном режиме, что позволяет сформировать высокий энергетический потенциал РЛС и не требует схем модуляции сигналов и накопителей в модулях;

- разводка всех цифровых, аналоговых и СВЧ-сигналов по полотну АФАР производится по волоконно-оптическим линиям.

В настоящее время монтажно-настроечные работы на РЛС завершены, и проводятся её испытания.



Приемный пост обзорной РЛС Р-диапазона

РАДИОТЕХНИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ПРИЕМА ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

В последние годы на предприятии разработан и создан перевозимый радиотехнический комплекс (РТК) для приема телеметрической информации в S-диапазоне.

В РТК использована многолучевая цифровая АФАР, позволяющая одновременно принимать информацию от нескольких десятков объектов. В настоящее время комплекс находится в опытной эксплуатации.



Перевозимый радиотехнический комплекс с многолучевой ЦАФАР для приема телеметрической информации в S-диапазоне

РЛС ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

В последние годы создаются различные системы на основе беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). В этой связи актуальным стало создание РЛС для обеспечения круглосуточной всепогодной посадки БПЛА на необорудованные взлетно-посадочные полосы. На нашем предприятии выполнена разработка такой РЛС и проведены её испытания.

В состав системы посадки входят переносной наземный радиолокационный модуль, размещаемый в 100-200 метрах от взлетно-посадочной полосы, и бортовой радиоприемник, размещаемый на БПЛА.

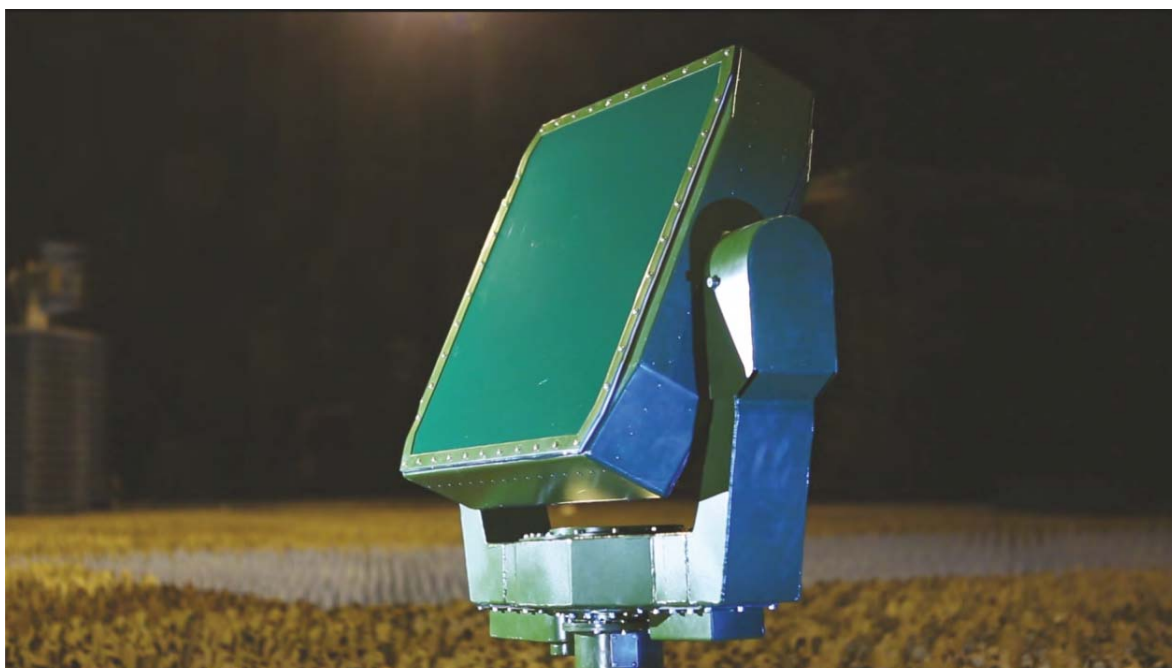
Основными особенностями данной системы является работа в двух диапазонах длин волн (S и Ka), а также использование активного ответа для идентификации БПЛА, повышения энергетического потенциала и точностных характеристик системы.

Канал Ka-диапазона обеспечивает высокую точность сопровождения БПЛА.



Наземный модуль РЛС системы посадки БПЛА на полигонных испытаниях

Канал S-диапазона обеспечивает устойчивое первичное обнаружение и целеуказание для канала Ka-диапазона, а также информационный обмен в условиях облачности, осадков и дымов.



Двухдиапазонная РЛС системы посадки БПЛА. Измерения в безэховой камере

ПАО «РАДИОФИЗИКА» СЕГОДНЯ

■ НОВЫЙ ЭТАП РАЗВИТИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ



Здание ПАО «Радиофизика», 2020 г.

Сегодня ПАО «Радиофизика» – это современное высокотехнологичное предприятие с модернизированной производственной базой. Основными направлениями его деятельности являются работы по созданию мощных многофункциональных РЛС различных диапазонов волн с цифровыми фазированными антенными решетками, земных станций и сетей спутниковой связи для организации и управления воздушным движением, средств телеметрии воздушного, морского и космического базирования, в том числе для международных космических проектов.

Кроме того, ПАО «Радиофизика» разрабатывает радиотехнические устройства и механизмы для стационарных и мобильных систем различного назначения, а его производственная база обладает широкой номенклатурой универсального и специального современного высокопроизводительного оборудования, позволяющего создавать уникальные изделия и обеспечивать серийное производство СВЧ-элементов АФАР с применением технологии низкотемпературной керамики.

На участке радиофотоники освоены современные технологии в интегральной оптике, СВЧ-фотонике и оптоэлектронике.

Уникальные по своим радиотехническим характеристикам разработки ПАО «Радиофизика» находят применение в самых различных областях. В настоящее время вводятся в эксплуатацию новейшие системы с активными цифровыми ФАР наземного и морского базирования, осуществляются поставки серийного оборудования для обеспечения автоматической посадки беспилотных летательных аппаратов. Помимо этого, важным направлением является разработка станций связи в составе аппаратуры самых современных комплексов ВКО. Система спутниковой связи для организации воздушного движения обеспечивает бесперебойные и безопасные полеты гражданской авиации над территорией России.

В тематике ПАО «Радиофизика» значительно возросла доля продукции гражданского назначения. На предприятии функционирует Центр

комплексной диагностики, измерений и испытаний радиоэлектронных устройств, оснащенный самым современным оборудованием. Он предоставляет широкий спектр сертифицированных услуг по испытаниям радиоэлектронной аппаратуры различного назначения по параметрам ЭМС, помехозащищенности и электробезопасности, механические и климатические испытания. В области радиофотоники предприятие использует более десяти видов изделий, среди которых тракты передачи сигналов для систем АФАР радиомониторинга и телеметрии, многоканальные кабельные сборки, распределительные оптические системы. Это оборудование может использоваться как в гражданской технике, так и в аппаратуре специального назначения.

Главным ресурсом ПАО «Радиофизика» является его высокопрофессиональный коллектив. С целью эффективной целевой подготовки специалистов на базе предприятия работают кафедра радиофизики и технической кибернетики факультета радиотехники и кибернетики МФТИ, кафедра 914 «Проектирование сложных технических систем» МАИ и аспирантура, осуществляется профессиональное обучение по программам подготовки и повышения квалификации рабочих кадров для производства. Среди сотрудников – более 40 кандидатов и докторов наук.

В честь великого ученого и основателя предприятия в Москве рядом с ПАО «Радиофизика» в 2020 году именем Бубнова названа улица.



Ул. Бубнова в Тушине

■ ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ БАЗА

НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ – ОСНОВА РАЗВИТИЯ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

За последние десятилетия новыми стали не только подходы к конструированию радиосистем, но, в значительной степени, технологии их изготовления. В радиосистемах все чаще используются активные фазированные антенные решетки (АФАР) и цифровые АФАР (ЦАФАР). Осваиваются все более высокочастотные диапазоны радиоволн. Продолжается микроминиатюризация электронных устройств. Радиоэлектронные системы и их устройства создаются на основе применения новых технологических процессов.



Четырехканальный ППМ S-диапазона

Радиочастотный тракт системы, а также значительная часть её цифровых и других подсистем объединены в приемо-передающие модули (ППМ) – конструктивно и функционально законченные устройства, изготовление которых основано на технологиях микроэлектроники.



Восьмиканальный ППМ X-диапазона

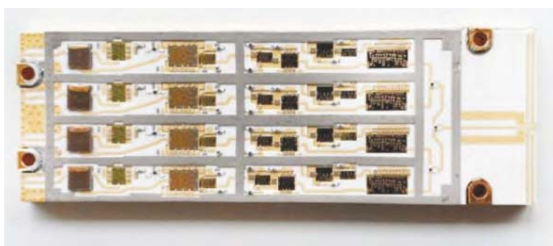
Специалисты технологического департамента теперь являются разработчиками технологий антенн, базирующихся на целом спектре новейших технологий серийного микроэлектронного автоматизированного производства, волоконно-оптических и СВЧ-фотонных технологий, технологий низкотемпературной совместно-обжигаемой керамики (LTCC), технологий автоматизированного контроля, тестирования и калибровки.

Без преувеличения, по ряду направлений ПАО «Радиофизика» теперь занимает лидирующие позиции и является де-факто центром компетенций в создании отечественной антенной техники.

ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИЙ ИЗГОТОВЛЕНИЯ АФАР

Наличие твердотельных электронных СВЧ-компонентов высокого качества, развитие технологий автоматизированной сборки устройств из радиоэлектронных компонентов позволяют реализовать многие теоретически обоснованные потенциальные возможности РЛС с АФАР при разумных затратах на производство.

Опыт выполненных разработок показывает, что общая стоимость всех ППМ составляет до 80% стоимости ЦАФАР и до 60% от общей стоимости РЛС. Поэтому от успешного решения задачи создания ППМ зависят как тактико-технические и эксплуатационные, так и экономические показатели РЛС. Создание современных ППМ требует тщательной работы на всех этапах от эскизного проектирования до серийного производства.



Четырехканальный ИФУ Ka-диапазона

На предприятии отработана технология создания серийно изготавливаемых ППМ, имеющая следующие особенности:

- быстрая разработка документации новых ППМ с учетом опыта предыдущих разработок;

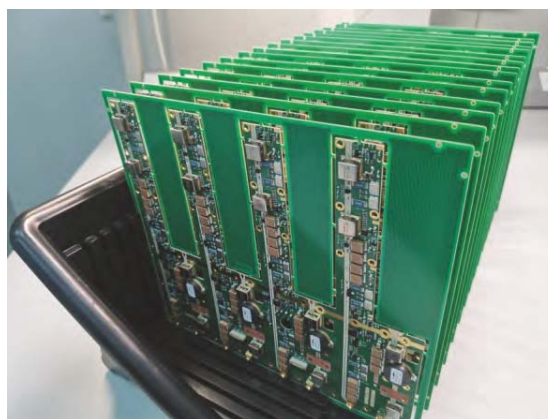
- моделирование характеристик ППМ и ЦАФАР в процессе разработки;

- использование в ППМ интегральных функциональных устройств (ИФУ) на основе монокристаллических интегральных схем, в которых уже достигнуты оптимальные параметры;

- изготовление в короткие сроки необходимого количества ППМ для отработки опытного фрагмента ЦАФАР;

- высокая повторяемость характеристик ППМ;

- быстрая автоматизированная настройка и проверка ППМ.



Серийная сборка печатных плат для ППМ S-диапазона



Серийный выпуск микросборок ИФУ для ППМ S-диапазона

ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ СИСТЕМА ПРЕДПРИЯТИЯ XXI ВЕКА

Практика последних лет убедительно свидетельствует о непрерывном усложнении функциональных и эксплуатационных требований к радиосистемам с ЦАФАР, а также о быстрой сменяемости компонентной базы ППМ. При этом задача оперативного создания конкурентоспособных ППМ становится все более актуальной.

Задача оперативной разработки и изготовления опытных образцов конкурентоспособных ППМ для различных изделий АФАР требует организации гибкого позаказного производства, способного работать в «импульсном» режиме.



Участок автоматической конвейерной линии SMD-монтажа печатных плат



Участок изготовления керамических печатных плат по технологии LTCC

В ПАО «Радиофизика» гибкое производство с полным замкнутым технологическим циклом изготовления ППМ для ЦАФАР было создано в 2012-2018 гг. в рамках выполнения программ технического перевооружения. Оно завершилось созданием комплексной системы производственных участков (КСПУ), ориентированных на производство электронных приемо-передающих СВЧ-модулей.

КСПУ организована в виде двухуровневой структуры технологического комплекса в составе: «Дизайн-центр микроэлектроники» и «Опытное производство микроэлектроники».

Основные задачи Дизайн-центра – проверка идей разработчиков, отработка конструктивных решений, изготовление образцов ППМ, отработка технологических процессов, выпуск технологической документации и обучение персонала.



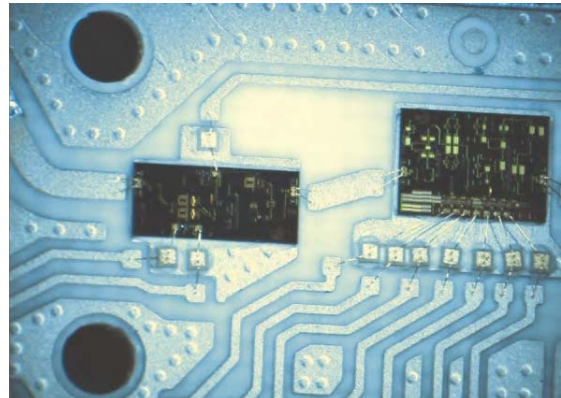
Участок микромонтажа:
рабочее место шариковой микросварки



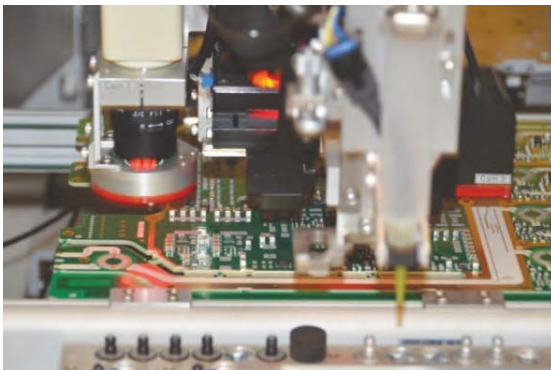
Участок микросборки:
рабочее место клиновой микросварки



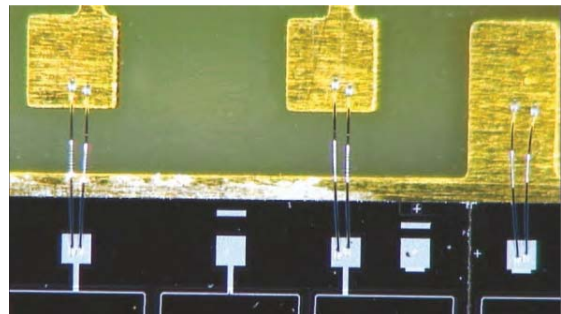
Экспериментальный участок
ультразвуковой микросварки кристаллов



Соединения, выполненные
от контактных площадок бескорпусных
интегральных схем микросваркой
золотой проволокой

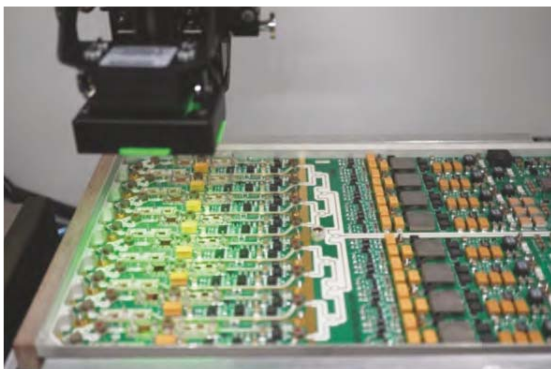


Высокоточный микромонтаж
электронных бескорпусных компонентов



Соединения, выполненные микросваркой

Использование аддитивных технологий позволяет оперативно изготавливать прототипы будущих изделий. Печать деталей на 3D-принтерах позволяет ускорить этап макетирования при разработке АФАР.



Высокопроизводительная микросварка
соединений на объединительной
плате ППМ



Участок аддитивных технологий:
рабочее место оператора
3D-принтеров



Участок аддитивных технологий:
3D-печать изделия сложной формы

Применение в разработках АФАР компонентной базы оптоэлектроники открывает для проектировщиков антенн широкие возможности дальнейшего совершенствования их характеристик. Подразделение оптоэлектроники и радиофотоники призвано внедрять в разработки антенн технологии создания пассивных и активных оптических устройств передачи и обработки данных.



Участок волоконно-оптических и СВЧ-фотонных технологий

На технологической базе предприятия имеется возможность изготовления оптических гибридных интегральных функциональных устройств (ОГИФУ) для передачи аналоговых сигналов с частотой до 60 ГГц и цифровых сигналов со скоростью передачи до 40 Гб/сек.

Задачи опытного производства (ОП) – изготовление опытных образцов серийных ППМ и партий изделий, подготовка их к испытаниям и приемке.

Такая постановка задачи требует быстрой переналадки оборудования и рабочих мест на необходимый технологический процесс, включая операции по автоматизированным измерениям и калибровке параметров модулей. По существу, на участках ОП сосредоточен весь комплекс современного технологического оборудования, который потребуется для серийного производства АФАР по требованиям заказчика.

Применение локальных чистых зон в производстве электроники обусловлено требованием осуществления технологических операций в условиях максимальной чистоты, определенной температуры и допустимой влажности воздушной среды. Также необходимо соблюсти все требования по защите электронных изделий и компонентов от электростатических разрядов.



Участок микромонтажа: локальные чистые зоны проведения работ

Чистые производственные помещения и локальные чистые зоны КСПУ полностью отвечают требованиям электронной отрасли и играют ключевую роль в обеспечении высокого качества изготавливаемых на предприятии опытных образцов АФАР.



Участок контроля радиотехнических параметров и калибровки ППМ

- осуществляют технологическую подготовку производства;
- разрабатывают оснастку, приспособления, контактирующие устройства;
- программируют станки автоматизированных конвейерных линий;
- разрабатывают и актуализируют технологические стандарты предприятия;
- обеспечивают выполнение требований системы менеджмента качества и системы менеджмента бережливого производства.



Участок контроля качества изделий: рабочее место рентгеновского контроля



Участок специальных технологий: холодное газодинамическое нанесение покрытий

В состав КСПУ входят производственные участки, позволяющие организовать замкнутый цикл изготовления сложных электронных изделий: участки SMD-монтажа, участки микромонтажа кристаллов МИС, монтажно-сборочные участки, участки контроля качества изделий (оптическая и рентгеновская инспекции), участки герметизации корпусов ППМ, участки специальных технологий и другие.

Кроме производственных участков, в состав подразделений технологического департамента предприятия входят отделы конструкторов, технологов и службы главного технолога, которые сопровождают выполнение заданий по проектам, а именно:



Участок специальных технологий: установка лазерной обработки керамических материалов

УЧАСТОК ТОЧНОЙ МЕХАНИКИ

В технологиях АФАР, как и в технологиях других устройств радиосистем, необходимо создавать несущие конструкции, волноводные и излучающие устройства, корпуса ППМ, элементы систем охлаждения, элементы поворотного-приводных устройств, поэтому передовые технологии механообработки всегда востребованы.

При изготовлении опытных образцов, единичных изделий или небольших серий изделий на

собственном производстве необходимо иметь технологическое оборудование, обеспечивающее не столько высокую производительность, сколько универсальность, высокую точность и повторяемость процессов. Для выполнения таких работ на предприятии создан участок точной механической обработки (ТМО) с комплексом универсальных фрезерных и токарных станков, а также универсальных электроэрозионных станков, имеющих числовое программное управление (ЧПУ), и другое оборудование.



Участок ТМО: 5-осевой универсальный обрабатывающий центр с ЧПУ



Участок ТМО: вертикальный фрезерный станок с ЧПУ



Участок ТМО: универсальный токарный станок с ЧПУ



Участок ТМО: электроэрозионные станки с ЧПУ

■ РАДИОИЗМЕРЕНИЯ В БЕЗЭХОВОЙ КАМЕРЕ

ИЗМЕРЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ИЗЛУЧЕНИЯ

Для измерений характеристик излучения создаваемых изделий и их составных частей в ПАО «Радиофизика» созданы и эксплуатируются несколько оборудованных измерительными стендами экранированных камер и безэховых камер (БЭК), в том числе уникальная по размерам большая БЭК. Её длина – 84 м, ширина – 36 м и высота – 20 м.

Металлический экран, охватывающий БЭК, обеспечивает ослабление не менее 90 дБ в диапазоне частот 0.3 – 100 ГГц.

Коэффициент безэховости БЭК составляет от –30 до –50 дБ в зависимости от диапазона частот и расстояния между антеннами. Такой коэффициент безэховости обеспечивается облицовкой БЭК разными радиопоглощающими материалами.



Общий вид безэховой камеры

Большая БЭК имеет двойные экранированные ворота с обеих сторон.

Уникальные размеры и характеристики большой БЭК позволяют решать широкий спектр радиоизмерительных задач, связанных с проверками и экспериментальной отработкой антенных устройств, измерениями ЭПР целей, а также с отработкой характеристик РЛС и определением параметров электромагнитной совместимости (ЭМС) изделий.

ИЗМЕРЕНИЯ АНТЕНН В ПРОМЕЖУТОЧНОЙ И ДАЛЬНОЙ ЗОНАХ

БЭК оборудованы автоматизированными измерительными стендами. Один из них – автоматизированный стенд для настройки и измерений параметров антенн в промежуточной и дальней

зонах – расположен в большой БЭК и имеет опорно-поворотное устройство с подъемной фиксирующей кареткой, которая позволяет позиционировать измеряемую антенну и изменять ее угловое положение.



АФАР сантиметрового диапазона на измерительном стенде

Устройство обеспечивает повороты измеряемого объекта вокруг трех осей: азимутальной, угломестной и полярной, а также линейные перемещения в продольном направлении и по высоте. Погрешность отсчета углов составляет менее одной угловой минуты по каждой из осей. Масса измеряемого объекта – до 300 кг. Рабочая высота подъема план-шайбы для крепления объекта – 6 м.



Измерения в БЭК в зоне Френеля спутниковой раскладной антенны X-диапазона РЛС «Северянин» размером 14 м (дальняя зона – 15 км!)

Стенд снабжен системой антенных измерений Agilent, обеспечивающей измерения в диапазонах от 1 МГц до 110 ГГц за счет применения выносных смесительных головок. Приборные

погрешности измерений амплитуд и фаз сигналов – 0.1 дБ и 1°, соответственно.

При измерениях характеристик направленности антенн и калибровке ФАР информация об амплитуде и фазе измеряемого сигнала поступает с выхода измерительного приемника через контроллер в компьютер. Одновременно с датчиков опорно-поворотного устройства подается информация об угловом положении измеряемой антенны. Программное обеспечение стенда позволяет оперативно обработать накопленные файлы и выдать на экран дисплея соответствующие графики, удобные для протоколирования.

ИЗМЕРЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ ПЛАНАРНОГО СКАНЕРА

В большой БЭК установлен также измерительный комплекс на основе прецизионного планарного сканера с размером рабочей зоны 9×6 м.



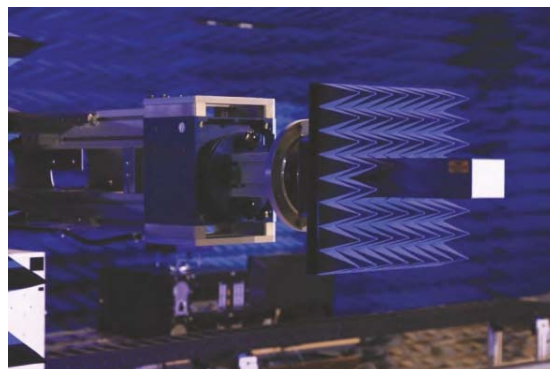
Измерения РЛС с АФАР S-диапазона в ближней зоне с помощью сканера

Стенд позволяет определять характеристики апертурных антенн по измерениям в ближней зоне.

В первую очередь это относительно тяжелые АФАР, которые можно измерять в неподвижном положении без поворотов по угловым координатам,

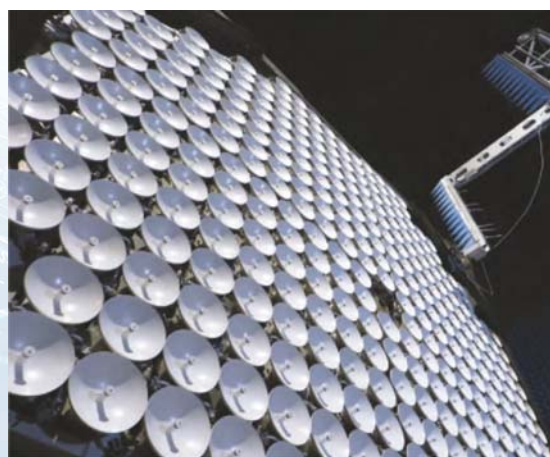
как это требуется при измерениях в дальней зоне или в зоне Френеля.

В 2020 году измерительный стенд на основе планарного сканера доработан и аттестован для измерений характеристик ЦАФАР.



Элемент сканера

Высокое качество измерений, а также возросшая производительность работ обеспечили привлекательность экспериментальной базы ПАО «Радиофизика» для сторонних организаций, имеющих потребность в проведении антенных измерений своей продукции.



Измерения характеристик большой АФАР миллиметрового диапазона с помощью сканера

ИЗМЕРЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ОБРАТНОГО РАССЕЯНИЯ

В большой БЭК проводятся измерения характеристик обратного рассеяния различных объектов.



Измерения характеристик обратного рассеяния в большой безэховой камере

Разработан уникальный программно-аппаратный комплекс, позволяющий повысить достоверность измеренных в БЭК характеристик обратного рассеяния сложных целей.



Измерение характеристик обратного рассеяния модели турбины летательного аппарата

Ключевыми особенностями программно-аппаратного комплекса являются:

- возможность измерения характеристик обратного рассеяния объектов как в дальней, так и в промежуточной зонах;
- фильтрация переотражений в БЭК при анализе диаграмм обратного рассеяния частотно-временным методом;
- использование цифровых методов формирования двумерных радиолокационных изображений в произвольном секторе углов, позволяющее фильтровать отдельные элементы радиолокационного изображения (блестящие точки);
- оценка вклада в интегральную ЭПР объекта дифракции волн на задних кромках целей без учета и с учетом радиопоглощающих покрытий с магнитными потерями.

Разработан способ построения радиолокационных изображений сложных объектов с использованием метода ISAR (Inverse Synthetic Aperture Radar) с последующим устранением переотраженных сигналов при измерениях диаграмм обратного рассеяния в условиях БЭК с низкими требованиями к коэффициенту безэховости.

Современные решения по расчету ЭПР и цифровой обработке сигналов для уменьшения помех в БЭК были разработаны с целью достоверных измерений характеристик обратного рассеяния различных вариантов перспективного турбореактивного двигателя.

Построение двумерных радиолокационных изображений целей с помощью метода ISAR, а также разработка математического аппарата с использованием частотно-временного метода позволили существенно снизить влияние переотражений в БЭК на результаты измерений ЭПР различных объектов.