

**Система контроля активных  
фазированных антенных решеток  
(АФАР)**

# Перспективность АФАР

Применение АФАР позволяет применять новые методы обзора пространства, увеличивает разрешающую способность и дальность действия, что значительно расширяет возможности реализации требуемых характеристик РЛС

## Необходимость создания систем контроля для комплексов АФАР

- обнаружение неисправностей и проверка характеристик трактов АФАР
- оценка технических характеристик и параметров ППМ и комплекса АФАР на этапах разработки и изготовления
- контроль работоспособности элементов при эксплуатации

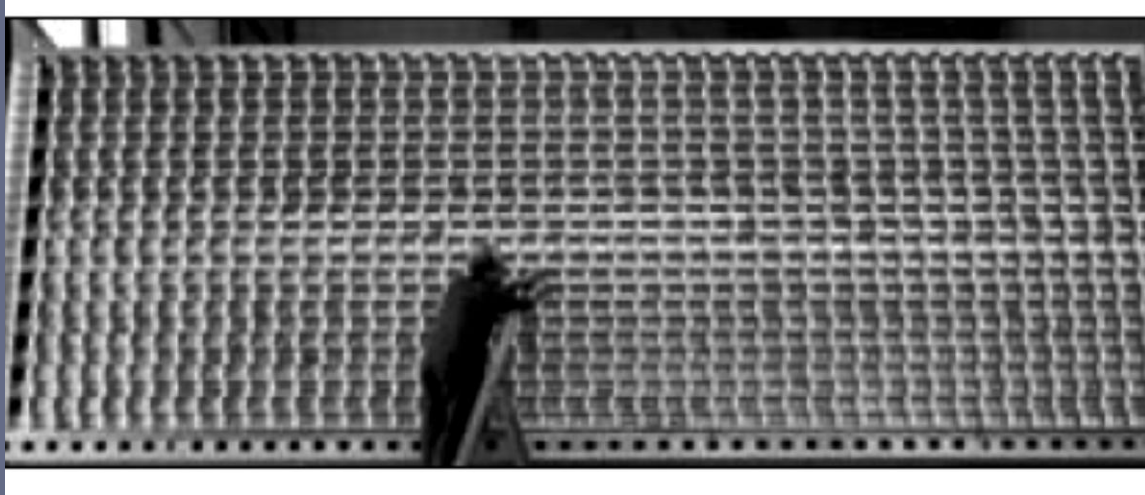
## Система контроля АФАР обеспечивает

- увеличение излучаемой мощности за счет уменьшения потерь мощности АФАР
- снижение СВЧ - потерь в элементах антенной решетки
- улучшение коэффициента шума приемного канала
- расширение рабочей полосы
- повышение надежности работы и повышение помехозащищенности

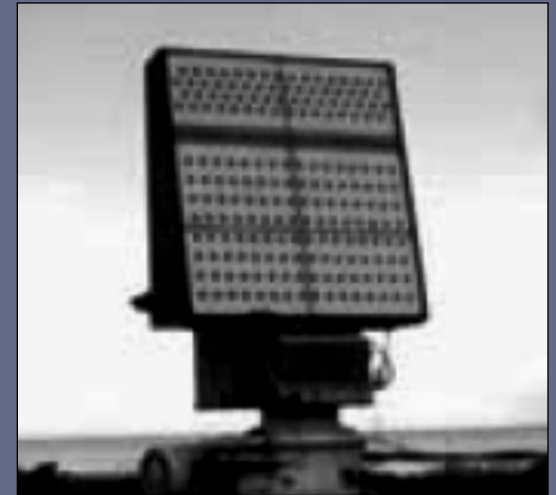
## Требования к системе контроля АФАР

производительность, эффективность, высокая надежность, развитая система диагностики и автоматических калибровок, модульная технология

# Примеры АФАР



Антенная решетка РЛС 51850М



РЛС CLOSE LPI



РЛС S1850M



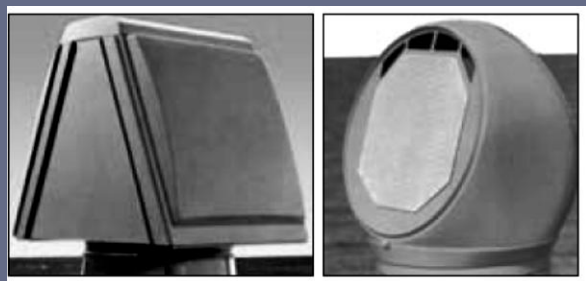
АФАР бортовой РЛС

# Обобщенная структурная схема АФАР

Система формирования  
луча

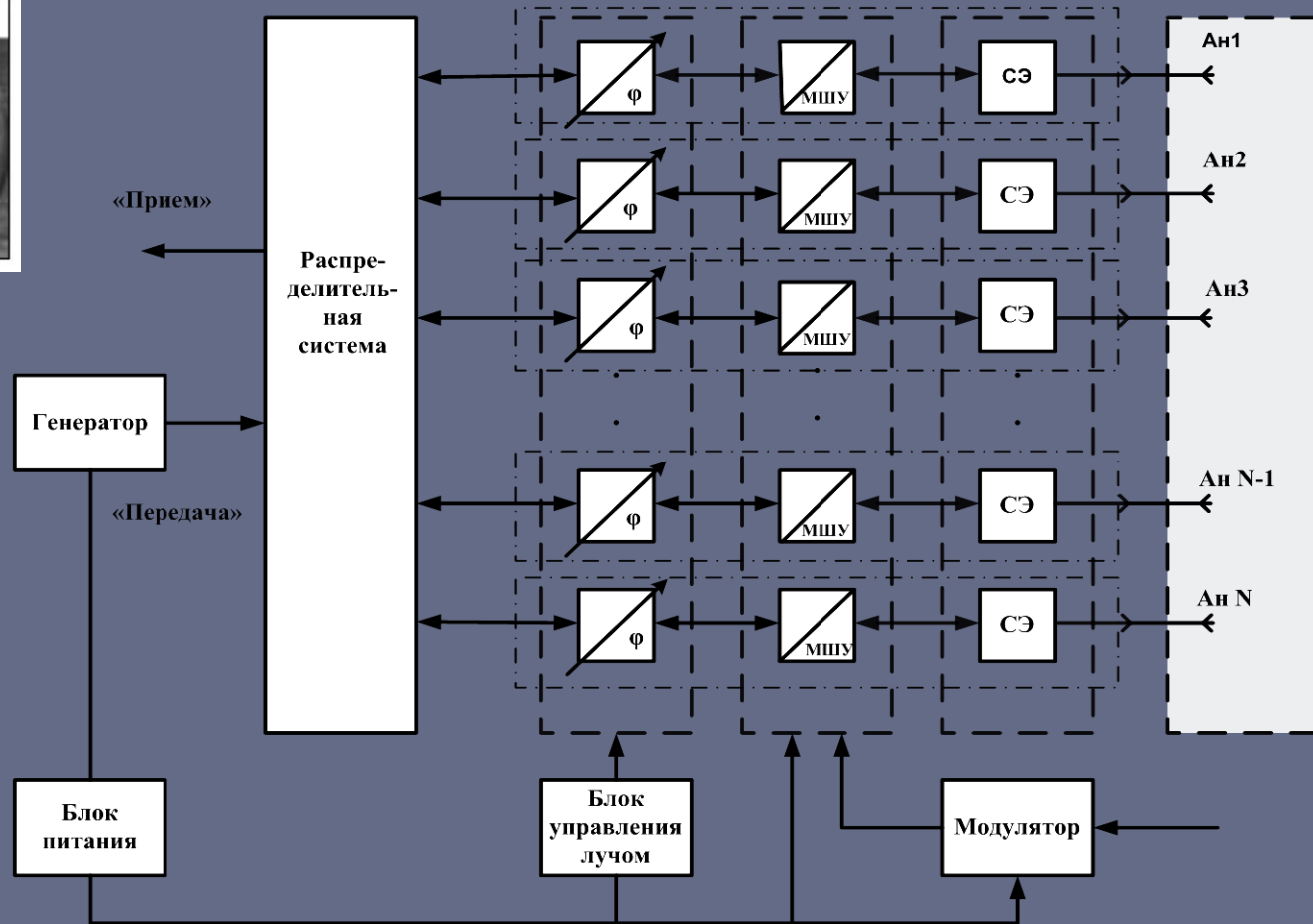
Приемо-передающие  
модули АФАР

Система  
излучателей



В ППМ реализуются  
функции:

- управление фазовым сдвигом
- усиление мощности
- переключение режимов работы «прием-передача»
- усиление принимаемого СВЧ сигнала МШУ с высоким отношением сигнал-шум



# Параметры и характеристики АФАР

## Основные параметры и характеристики передающих АФАР

### Внутренние параметры элементов АФАР, режимы их работы

Фазовое распределение падающих волн на входах излучателя

Уровень падающей и отраженной мощностей в канале излучателя

Комплексные коэффициенты отражения на входе излучателей

Коэффициенты передачи в каналах

Характеристики и параметры ПИМ АФАР (АЧХ, ФЧХ,  $K_{ус}$ ,  $K_{ш}$ )

Тип и количество излучателей

Геометрия решетки и расположение излучателей

Габаритные размеры, весовые показатели

Диаграмма направленности (ДН)

Коэффициент направленного действия (КНД)

Пеленгационные характеристики

Поляризационные характеристики

Энергетические характеристики: коэффициенты усиления и рассеяния, КПД и др.

# Контролируемые параметры и характеристики АФАР

## Передающая система

- уровни выходной мощности
- значения фазы разрядов фазовращателей
- температура корпуса ППМ
  
- амплитудно-частотные характеристики (АЧХ)
- фазочастотные характеристики (ФЧХ)
- амплитудные характеристики
- коэффициенты стоячей волны

## Приемная система

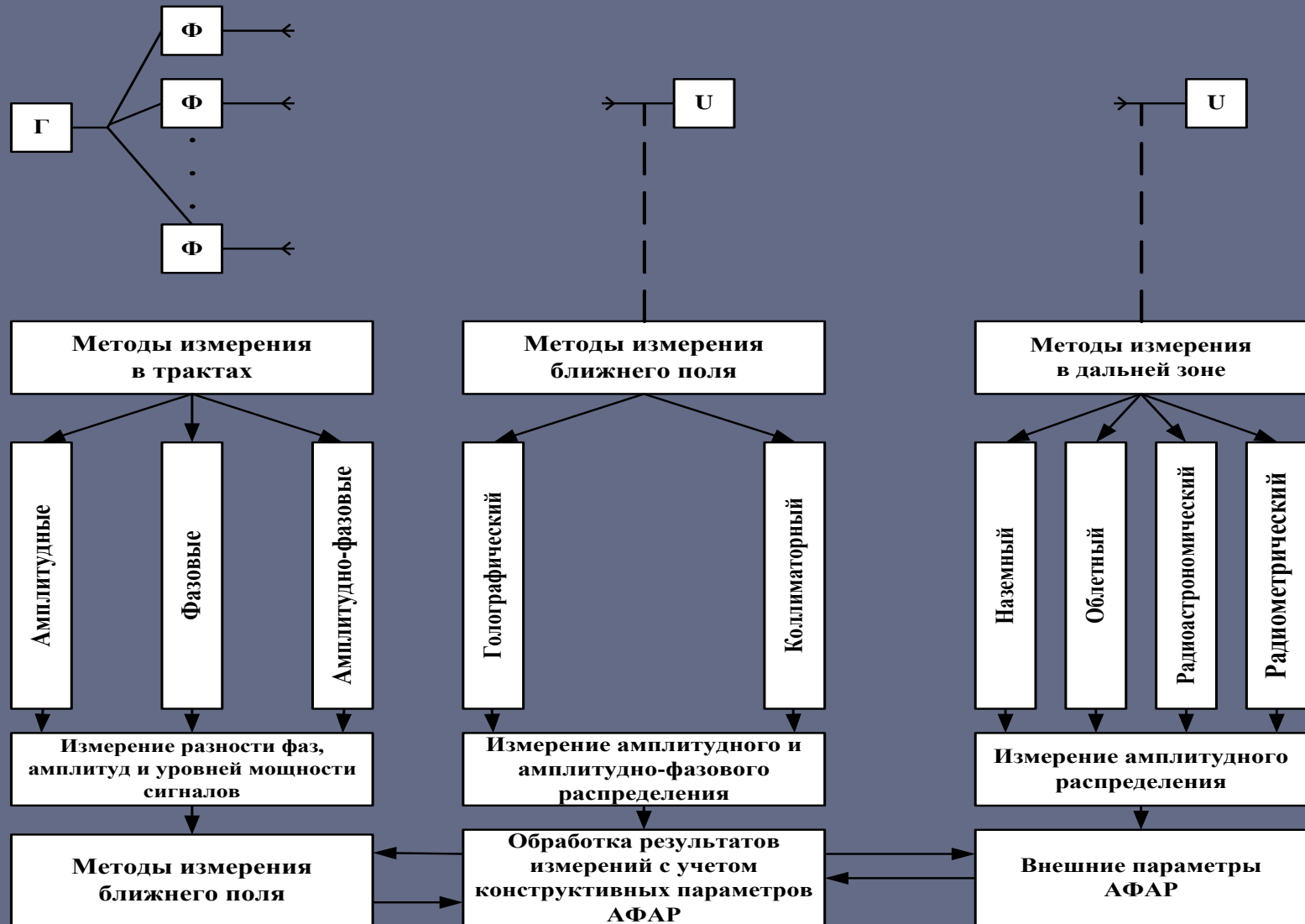
- коэффициенты усиления
- значения фазы разрядов фазовращателей
- уровень шумов на выходе ППМ
  
- амплитудно-частотные характеристики (АЧХ)
- фазочастотные характеристики (ФЧХ)
- амплитудные характеристики
- коэффициенты стоячей волны
- коэффициент шума приемного канала

*\* для проверки трактов параметры должны быть измерены в пределах динамического и частотного диапазонов сигналов*

## Задачи контроля

- определение неисправных ППМ АФАР
- определение работоспособности передающей и приемной систем
- коррекцию характеристик элементов и узлов ППМ при проверке и настройке

# Методы измерения электрических параметров АФАР



# Методы измерения в трактах излучателей АФАР



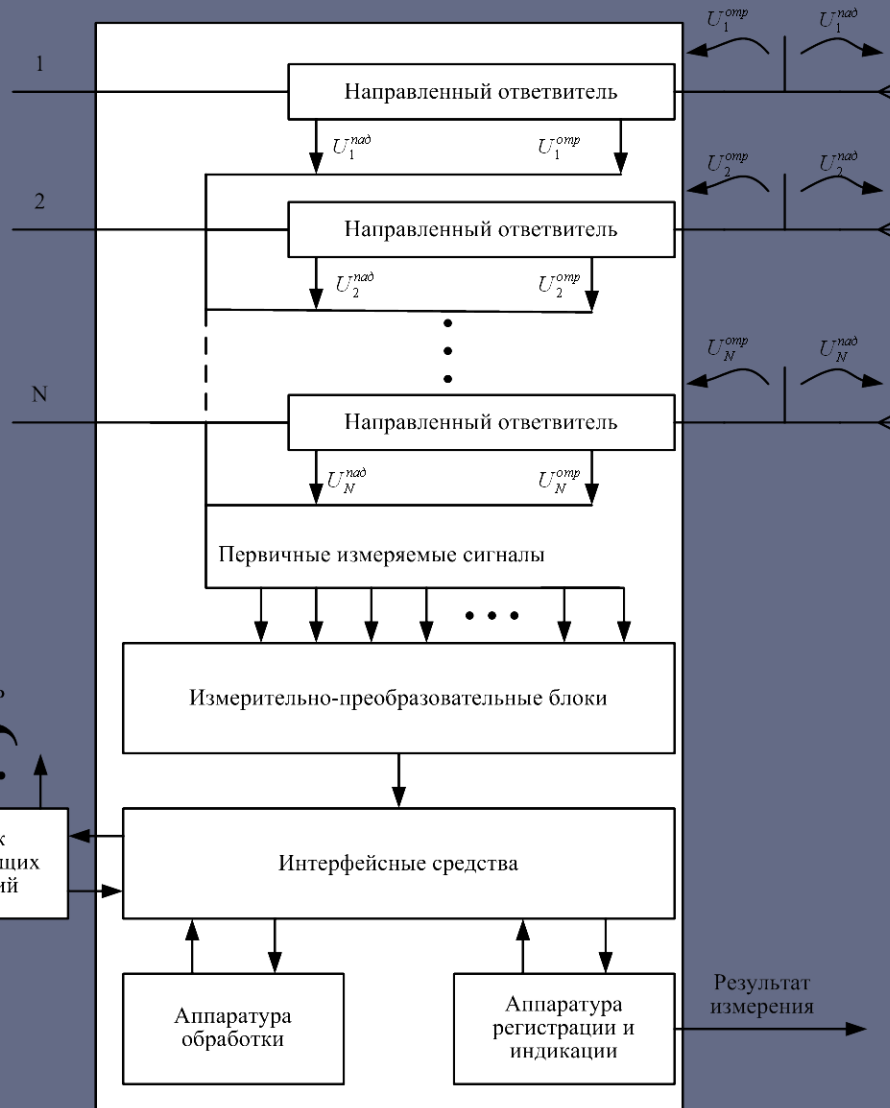


# Внутренние параметры АФАР

№ п/п	Внутренние параметры АФАР			Диапазон возможных изменений параметров	Первичные измеренные величины	Примечание	
	наименование	обозначение	определение				
1.	Падающая мощность в канале	$P_i^{\text{пад}} \text{ Вт}$	$P^{\text{пад}} = \frac{(U_i^{\text{пад}})^2}{W}$	В соответствии с техническими условиями	$U_i^{\text{пад}}$	I, k (номера контролируемых каналов)	
2.	Отраженная мощность в канале	$P_i^{\text{отр}} \text{ Вт}$	$P^{\text{отр}} = \frac{(U_i^{\text{отр}})^2}{W}$		$U_i^{\text{отр}}$		
3.	Предельное напряжение в тракте	$U_{\text{пр}} \text{ [В]}$	$U_{\text{пр}} =  U_i^{\text{пад}} _{\text{max}} +  U_i^{\text{отр}} _{\text{max}}$		$U_{i \text{ max}}^{\text{пад}}, U_{i \text{ max}}^{\text{отр}}$		
4.	Комплексный коэффициент отражения на входе излучателя	$\Gamma_i =  \Gamma  e^{j\varphi_i}$	$\Gamma = \frac{U_i^{\text{отр}}}{U_i^{\text{пад}}}$	$\begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 360 \end{pmatrix}$	$ U_i^{\text{пад}} ,  U_i^{\text{отр}} $		
5.	Фазовое распределение падающих волн в каналах	$\Delta\varphi_{i,k} \text{ рад}$	$\Delta\varphi_{i,k} = \varphi_i^{\text{пад}} - \varphi_k^{\text{пад}}$	$\begin{pmatrix} 0 & 360 \\  S_{ij}  \leq 1 \end{pmatrix}$	$\varphi_{S_{ij}} = \varphi_i - \varphi_k$		N (общее число каналов)
6.	Коэффициенты волновой матрицы	$[S_{nm}]$	В соответствии с определением [S] матрицы	$\begin{pmatrix} 0 & 360 \end{pmatrix}$	$U_i^{\text{отр}}, U_i^{\text{пад}}, \Delta\varphi_i, \Delta\varphi_i$		

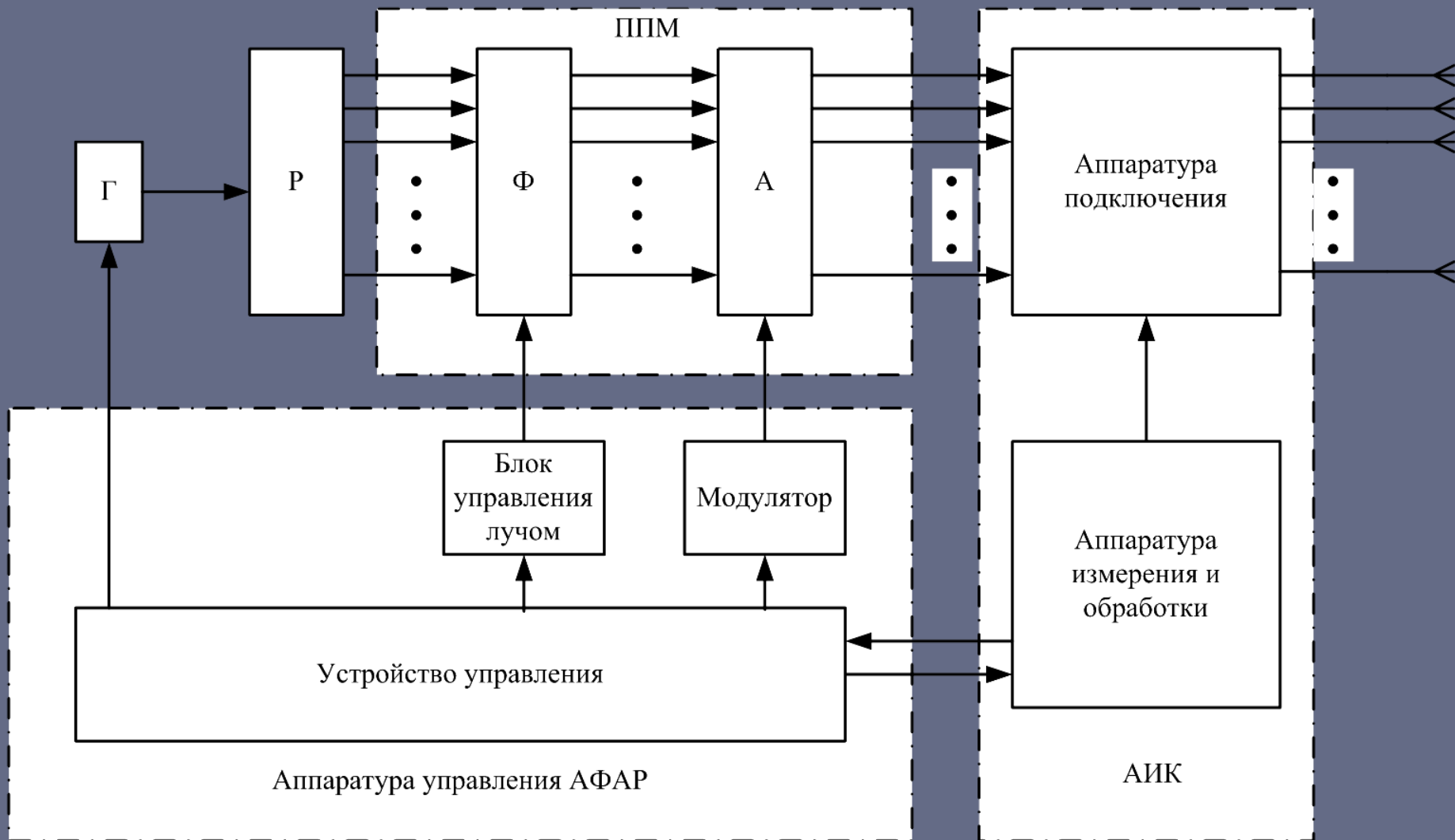
# Основа работы системы контроля - метод параллельного измерения АФР в трактах

## Структурная схема АИК



- аппаратура подключения к трактам, выполненная в виде направленных ответвителей падающих и отраженных волн в каждом канале;
- измерительно-преобразовательный блок, обеспечивающий измерение и преобразование в цифровую форму амплитуд падающих и отраженных волн, а также формирование и измерение сигналов, несущих информацию о фазовых соотношениях;
- интерфейсные средства (магистральные приемо-передатчики, цифровые коммутаторы, аппаратура сопряжения и т.д.);
- аппаратура обработки (управляющий компьютер);
- аппаратура регистрации и индикации (средства отображения информации)

# Структурная схема АФАР и системы контроля



# Варианты применения системы контроля

**Система контроля амплитудно-фазового распределения в трактах излучателей активных фазированных антенных решеток**

**Технологическое оборудование**  
- изготовления и отладка АФАР в заводских условиях;  
- проведение регламентных работ действующих РЛС;

**Система встроенного контроля в составе АФАР**

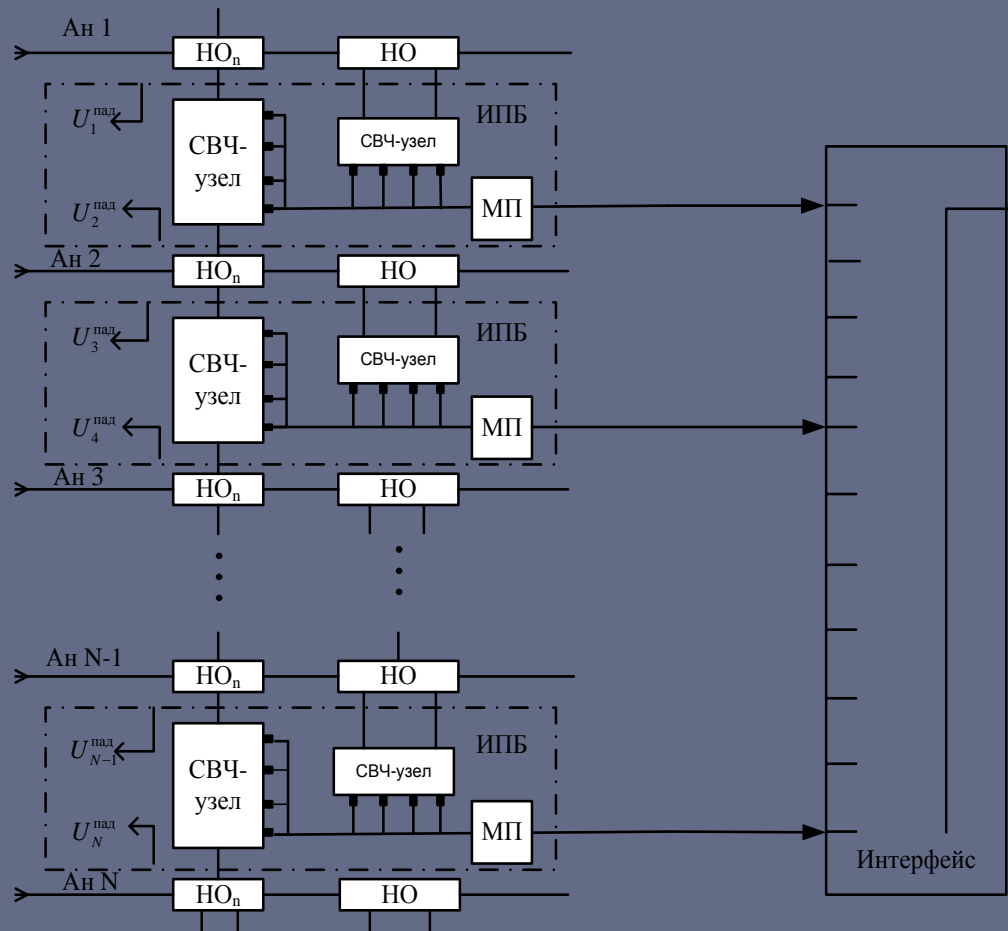
**Контроль характеристик элементов АФАР**  
(излучателей, усилителей, фазовращателей, делителей мощности)

**Адаптация технического состояния каналов управления ДН.  
Компенсация погрешностей АФР сигналов возбуждения излучателей в процессе эксплуатации РЛС.**

**Диагностирование элементов в каждом канале, автоматическая коррекция характеристик в составе АФАР.  
Повышение коэффициента усиления АФАР на 0,5-1,5 дБ, снижение уровня боковых лепестков на 3-5 дБ.**

**Повышение помехозащищенности, надежности и живучести комплексов РЛС с АФАР**

# Вариант применения – автоматизированный измерительный комплекс (АИК)



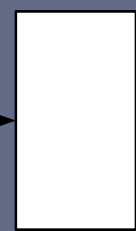
## Измерения

Измерения производятся в ИПБ одновременно

Первичные параметры измерения

- комплексные амплитуды подающих и отраженных волн в каждом канале

Управляющий компьютер



## Состав

ИПБ, управляющий компьютер, источник питания

ИПБ расположены в специализированном корпусе с разъемами «врубного» типа, их количество равно числу контролируемых трактов

НО – направленный ответвитель; ИПБ – измерительно-преобразовательный блок;  
МП - микропроцессор

# Назначение и применение АИК

- ✓ Предназначен для контроля параметров и характеристик АФАР с целью проведения отработки конструкции, а также настройки и проверки при производстве
- ✓ Может быть использован для контроля блочно-модульных АФАР на основе приемо-передающих модулей (ППМ) X -, L -, S - диапазонов волн и комплекса АФАР различного назначения
- ✓ Обеспечивает автоматизацию процессов настройки и проведения приемо-сдаточных испытаний элементов АФАР и их последующей обработки с целью определения и документирования характеристик и выдачи рекомендаций по их настройке
- ✓ Сокращает время разработки и изготовления элементов АФАР на этапах НИОКР (анализ различных вариантов построения АФАР с оценкой результатов), подготовки производства (процесс отработки технологии и изготовления модулей подрешеток АФАР), производства (отладка и настройка)
- ✓ Рекомендуется для применения в процессе разработки, опытного и серийного производства АФАР для настройки, определения параметров и характеристик и проведения приемо - сдаточных испытаний

# Состав и конструкция АИК

## Состав

Измерительно-преобразовательные блоки (ИПБ), управляющий компьютер и источник питания ИПБ расположены в специализированном корпусе с разъемами «врубного» типа, их количество равно числу контролируемых трактов

## Особенности конструкции

- модульный принцип построения
- СВЧ узлы ИПБ расположены непосредственно между контролируемыми трактами
- измерения производятся одновременно во всех контролируемых трактах
- измеряются и преобразовываются в цифровую форму мощности СВЧ сигналов
- определения параметров и характеристик производится за счет цифровой обработки результатов измерений мощностей
- отсутствует опорный канал для отсчета фазовых измерений
- исключаются электрически длинные линии передачи СВЧ сигналов
- в качестве источника стимулирующих воздействий для задания необходимых АФР в трактах излучателей используется аппаратура, входящая в состав АФАР
- автоматическая калибровка позволяет сохранять метрологические параметры 1 год
- автоматическая диагностика, высокая надежность, производительность и эффективность

# Измеряемые параметры АИК

## Измерения

Измерения производятся в ИПБ одновременно.

Первичными параметрами измерения являются комплексные амплитуды подающих и отраженных волн в каждом канале

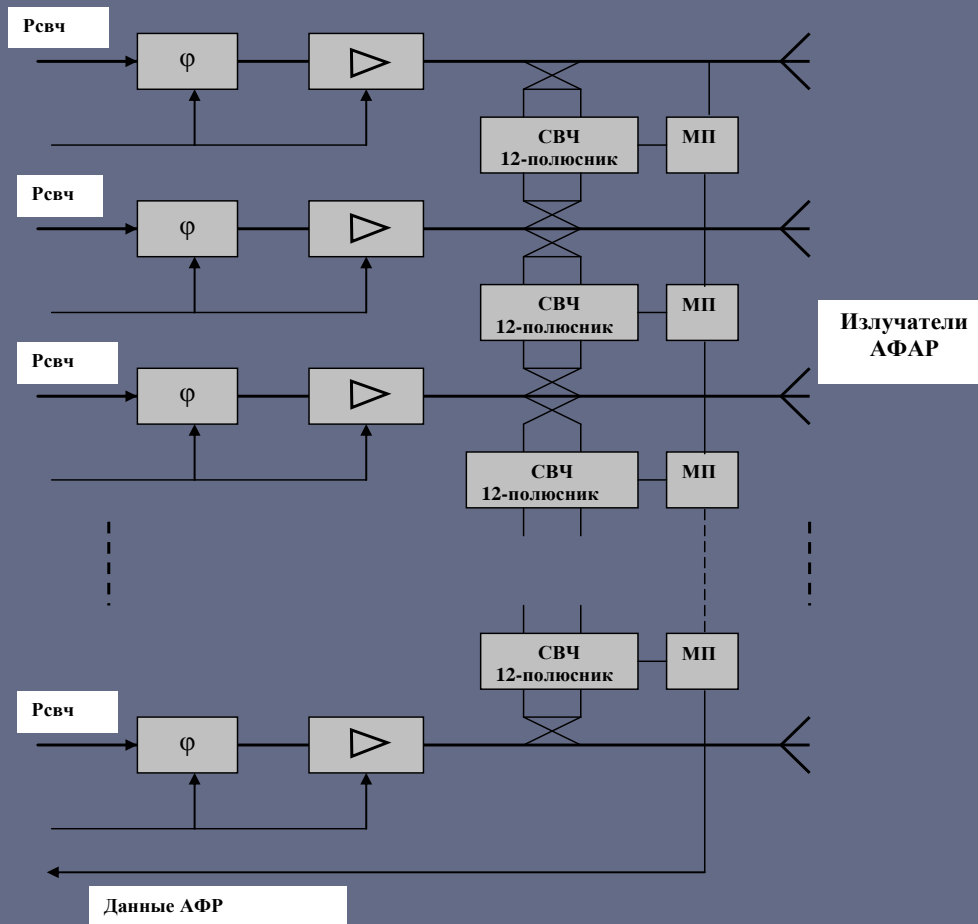
### По данным измерений ИПБ определяются

- падающая и отраженная мощности в каждом тракте
- предельное напряжение в тракте
- комплексный коэффициент отражения на входе излучателя
- фазовое распределение падающих волн в трактах
- коэффициенты волновой матрицы
- диаграмма направленности (ДН) АФАР (по известной парциальной ДН отдельного излучателя решетки)

Диапазон частот 1-18 ГГц, суммарная среднеквадратическая ошибка (СКО) измерения мощности в динамическом диапазоне 20 дБ, не более 0,3 дБ., суммарная СКО измерения фазы в динамическом диапазоне 20 дБ, не более 3°.



# Вариант применения (система встроенного контроля в составе АФАР)



## Система контроля обеспечивает

- одновременное измерение во всех контролируемых каналах
- оперативную диагностику элементов трактов возбуждения
- оценку погрешности при излучении всех элементов АФАР в зависимости от углового положения луча и частоты излучения
- автоматическое введение поправок для коррекции характеристики элементов в составе АФАР
- диагностирование элементов схемы возбуждения в каждом канале
- на 0,5-1,5 дБ повышает коэффициент усиления АФАР
- на 3-5 дБ снижает уровень боковых лепестков

▷ - СВЧ усилитель; φ – управляемый фазовращатель; МП - микропроцессор

Технические показатели обеспечивают повышение помехозащищенности, надежности и живучести комплексов, в состав которых входит АФАР

# Направления работы по проекту

- ▣ Разработка предложений по метрологическому обеспечению унифицированных блочно-модульных АФАР X-, L-, S- диапазонов волн
- ▣ Определение облика и принципов построения системы измерения параметров приема – передающих модулей (ППМ) и комплекса АФАР на этапах разработки и производства
- ▣ Разработка, изготовление и испытание образцов системы контроля АФАР