

# Методика оценивания возможности применения активной фазированной антенной решетки в радиолокационных станциях специального назначения

Вадим КОРОЛЕВ,  
к. т. н.  
Роман ГУДАЕВ  
Владимир СИДОРОВ

В статье рассмотрены основные принципы построения активной фазированной антенной решетки (АФАР). Представлены результаты анализа применимости АФАР в радиолокационных станциях специального назначения.

## Введение

Как показывает практика, эксплуатация технических средств космического базирования неизбежно приводит к появлению космического мусора. Увеличение количества указанных средств предполагает сокращение времени получения координатной информации с более высокими качественными показателями, что предопределяет требования к средствам специального назначения, в частности радиолокационным, по энергетическому потенциалу, гибкости управления характеристиками системы в целом, повышению надежности, расширению круга решаемых задач. В свою очередь требования, предъявляемые к антеннам специализированных РЛС, по формированию множества различных ДНА определяют структуру фазированных антенных решеток (ФАР) с использованием цифрового диаграммообразования.

## Постановка и решение задачи

Исходя из вышеизложенного, требуется с технической точки зрения выяснить применимость активных ФАР в РЛС специального назначения.

С этой целью необходимо определить тип антенной системы, оптимальные размеры антенного полотна, количество излучателей и расстояние между ними, вычислить требуемую выходную мощность элементарных приемно-передающих модулей.

В качестве критерия оптимизации можно принять оценку верхней границы прогнозируемого энергетического потенциала радиолокационной станции (РЛС)  $\hat{\mathcal{E}}_K$  в пределах зоны обзора:

$$\{f_n\}_K = \arg \max_{f_n} \hat{\mathcal{E}}_K, \quad (1)$$

где  $\{f_n\}_K$  — множество определяемых параметров РЛС,  $n$  — номер параметра,  $K$  — присвоенное значение  $n$ -го параметра;  $\hat{\mathcal{E}}_K$  — энергетический потенциал РЛС.

В качестве определяемых параметров РЛС используются: энергетический потенциал РЛС, надежность АФАР, потребляемая мощность и другие.

Однако условие (1) излишне оптимистично, поскольку зависит от множества факторов (или условий функционирования), распределение которых неизвестно, и отдать предпочтение какому-либо варианту — сложно. В этих условиях для принятия решения используют ряд критериев, рассмотрим некоторые из них.

Максиминный критерий Вальда, или критерий осторожного наблюдателя, оптимизирует ожидаемый результат в расчете на самые худшие условия функционирования системы, а выбор рационального варианта производится так:

$$\{f_n\}_K = \max_{f_n} \min_{f_j} \hat{\mathcal{E}}_K. \quad (2)$$

Критерий минимаксного риска («минимизация сожалений»), или критерий Сэвиджа, также рассматривается для наихудших условий функционирования, однако минимизации подлежат потери эффективности (риск) относительно самого хорошего варианта для различных условий:

$$\{f_n\}_K = \max_{f_n} \min_{f_j} r(\hat{\mathcal{E}}_K), \quad (3)$$

где  $r\{\hat{\mathcal{E}}_K\} = \max_{f_n}(\hat{\mathcal{E}}_K) - \min_{f_j}(\hat{\mathcal{E}}_K)$  — показатель риска («сожалений»).

Критерий Гурвица, или критерий «пессимизма-оптимизма», в отличие от предыдущих позволяет взвесить как наихудшие, так и наилучшие условия. Полагается, что наихудшие условия могут быть с вероятностью  $P_y$ , а наилучшие с вероятностью  $1-P_y$ , тогда критерий Гурвица можно представить в следующих формах:

$$\{f_n\}_K = \max_{f_j}(\hat{\mathcal{E}}_K) \times [P_y \min_{f_n}(\hat{\mathcal{E}}_K) + (1-P_y) \max_{f_n}(\hat{\mathcal{E}}_K)]. \quad (4)$$

При  $P_y = 1$  критерий Гурвица вырождается в критерий Вальда, или:

$$\{f_n\}_K = \min_{f_j}(\hat{\mathcal{E}}_K) \times [P_y \max_{f_n} r(\hat{\mathcal{E}}_K) + (1-P_y) \min_{f_n} r(\hat{\mathcal{E}}_K)], \quad (5)$$

при  $P_y = 1$  критерий Гурвица вырождается в критерий Сэвиджа.

Сложность определения вероятности  $P_y$  предполагает использование критериев (1–3). Целесообразным для данной задачи является выбор критерия (2), поскольку критерий (1) излишне оптимистичен, а для (3) минимизации подлежат потери эффективности (риск) относительно самого хорошего варианта для различных условий.

Введем следующие ограничения и допущения:

1.  $\mathcal{E}_K \geq \mathcal{E}_{K_{\text{треб}}}$  — энергетический потенциал РЛС должен быть не менее значений, заданных потребителем;
2.  $N_L \geq N_{L_{\text{доп}}}$  — надежность функционирования ФАР должно быть не менее допустимых значений;
3.  $\Omega_{\text{cons}}(\tau)$  — область пространства, контролируемого в течение заданного времени;

4.  $R_{\text{ВИ}} \geq R_{\text{ВИ ТР}}$  — рубеж выдачи  $P_{\text{ЛИ}}$  должен быть не менее заданного потребителем;
5.  $P_0 \leq P_{0 \text{ ТР}}$  — потребляемая мощность должна быть не более заданной потребителем;
6.  $Z_0 \leq Z_{0 \text{ ТР}}$  — суммарные затраты эксплуатации РЛС.

Анализ технических требований, предъявляемых к антенно-фидерному устройству радиолокационных станций специального назначения, показывает, что обеспечение изменения ориентации углового и азимутального секторов обзора РЛС специального назначения в полусферическом пространстве и одновременно безынерционное качание луча в этом секторе целесообразно осуществлять антенным постом с механическим вращением в азимутальной и угломестной плоскостях антенного полотна фазированной антенной решетки.

Известны два варианта построения фазированных антенных решеток — пассивная ФАР и активная ФАР. В последнем варианте возбуждение излучателей и фазирование сигналов элементарных излучателей осуществляется на малом уровне мощности, кроме того, отсутствует ряд сверхвысокочастотных элементов — компаратор, вращающиеся сочленения и другие.

Активная фазированная антенная решетка содержит когерентные генераторы, процессор, делители мощности, и приемопередающих модулей, оперативное запоминающее устройство, программируемую логическую интегральную схему, перезаписываемое постоянное запоминающее устройство, цифроаналоговый преобразователь, аналого-цифровой преобразователь, векторный модулятор, квадратурный демодулятор, полосовые фильтры, усилитель мощности, малошумящий усилитель, циркулятор, защитное устройство [1].

Типовая АФАР содержит приемопередающий модуль (ППМ) [1], построенный на базе гибридной и твердотельной микроволновой технологии. ППМ включает устройства управления мощностью и фазой излучаемых и принимаемых

СВЧ-сигналов, амплитудой принимаемых сигналов, СВЧ-переключателями приема-передачи, модуляторами смещений, обеспечивающими регулировку потребления узлами ППМ при передаче и приеме, устройстве интерфейса, обеспечивающего получение внешних управляющих сигналов и передачу на исполнительные узлы, устройства контроля мощности излучаемых и принимаемых сигналов в виде детекторов, подключенных к соответствующим СВЧ-фидерам через направленные ответвители, устройство отбора части мощности зондирующего сигнала.

Знание энергетического потенциала РЛС, выбранного согласно критерию (2), позволяет определить мощность, формируемую радиопередающим устройством, —  $P_{\text{ВЫХ.РПУ}}$ , определяемую выражением [2]:

$$P_{\text{ВЫХ}} = \hat{\Theta}_K / D \eta, \quad (6)$$

где  $D$  — коэффициент направленного действия антенны,  $\eta$  — коэффициент полезного действия антенны.

Исходя из знания потенциала РЛС, выходная мощность одного ППМ определяется выражением [2]:

$$P_1 = \hat{\Theta}_K / N^2, \quad (7)$$

где  $N$  — количество ППМ в АФАР.

Оценку потребляемой мощности АФАР можно провести по формуле [2]:

$$P_0 = P_1 N / \eta + (P_{0\text{Ф}} N + P_{0\text{Ф}} N / \eta_{\text{Ф}} \eta_{\text{В}}), \quad (8)$$

где  $P_1 N / \eta$  — мощность, потребляемая в усилителях всех  $N$  модулей;  $\eta_{\text{Ф}}$  — коэффициент полезного действия распределительного тракта;  $\eta_{\text{В}}$  — коэффициент полезного действия возбуждителя.

Оптимальное число излучателей антенны определяется, исходя из выбранного критерия, и в общем случае может быть различным. Расчеты показывают на достаточно близкие количественные значения.

Оценка стоимости АФАР  $\hat{Z}_{\text{ОТР}}$  может быть произведена исходя из следующих предположений. Если за единицу стоимости АФАР принять долю стоимости ППМ —  $C_1$ , приходящуюся на 1 Вт его выходной мощности, то расчет полной стоимости АФАР можно произвести по формуле [2]:

$$C = AN + B / \sqrt{N}, \quad (9)$$

где  $A = C_{\text{н}} + C_{\text{Ф}} + 1,5C_{\text{д}}$ ,

$$B = C_1 [(\hat{\Theta}_K / D_1) 0,63 + (2/3) \times (\hat{\Theta}_K / D_1) 0,5 / \eta_{\text{Ф}} \eta_{\text{В}} K],$$

где  $C_{\text{н}} = 0,1C_1$  — стоимость излучателя;  $C_{\text{Ф}} = 0,5C_1$  — стоимость фазовращателя;  $C_{\text{д}} = 0,01C_1$  — стоимость одного канала делителя;  $D_1$  — КНД одного излучателя решетки;  $\eta_{\text{Ф}}$ ,  $\eta_{\text{В}}$  — коэффициент полезного действия фазовращателя и делителя;  $K$  — коэффициент усиления ППМ.

Расчетная мощность усилителя СВЧ на полупроводниках, входящих в состав одного ППМ, приближенно равна 0,25–0,3 кВт. Анализ полупроводниковой элементной базы и проведенные расчеты усилителей СВЧ показывают возможность их реализации на отечественной элементной базе, но по многокаскадным схемам.

### Заключение

Реализация АФАР позволит сравнительно простыми техническими средствами повысить надежность функционирования РЛС как системы за счет унификации ППМ и достаточно высоких показателей наработки на отказ полупроводниковых элементов, входящих в состав ППМ. ■

### Литература

1. Активная фазированная антенная решетка. Патент RU 2531562C2, 14.11.12 г.
2. Активные фазированные антенные решетки / Под ред. Д. И. Воскресенского и А. И. Канащенкова. М.: Радиотехника, 2004.