

## МОНОИМПУЛЬСНАЯ ШИРОКОПОЛОСНАЯ АНТЕННА

**Бут Роман Олегович**

инженер-конструктор АО «Тайфун».

E-mail: [madara\\_40\\_rus@mail.ru](mailto:madara_40_rus@mail.ru)**Самбуров Николай Викторович**

начальник лаборатории АО «Тайфун».

E-mail: [sambyrov.n.v@yandex.ru](mailto:sambyrov.n.v@yandex.ru)

Адрес: 248009, Российская Федерация, г. Калуга, ул. Грабцевское шоссе, д. 174.

**Аннотация:** В статье анализируется возможность построения антенны для широкополосной моноимпульсной радиолокационной станции. В процессе анализа известных технических решений и выработки новых основное внимание акцентируется на уровне пересечения моноимпульсных диаграмм и его стабильности в полосе рабочих частот. Показано, что широкополосность моноимпульсных диаграмм направленности параболической зеркальной антенны ограничена как необходимым уровнем пересечения, так и его стабильностью. Проводится численный анализ ряда технических решений для повышения стабильности уровня пересечения. В статье предлагается конструкция системы облучения зеркального рефлектора на основе логопериодических излучателей. В данной конструкции сближение фазовых центров облучателей обеспечивается расположением, ориентацией и, непосредственно, компактной конструкцией самих излучателей. Приводятся результаты макетирования параболической зеркальной антенны на базе данной системы облучения. В результате макетирования была продемонстрирована работоспособность конструкции при стабильности величины уровня пересечения диаграмм направленности в пределах значений  $3\pm 1$  дБ в полосе частот не менее 3-х октав.

**Ключевые слова:** радиолокация, моноимпульсный метод, антенна, диаграмма направленности, облучатель.

**Введение**

Моноимпульсная (МИ) радиолокация находит широкое применение в системах обнаружения объектов как гражданского, так и военного назначения. МИ радиолокационные системы позволяют получить информацию об угловом положении (пеленге) объекта локации по одному принятому импульсу за счёт сравнения комплексных значений величин, излучённых (переизлучённых) сигналов, формируемых на выходах нескольких приёмных каналов.

При амплитудной (амплитудно-амплитудной) МИ пеленгации антенна должна иметь несколько диаграмм направленности (ДН), пересекающихся в плоскости измерения координат. Определение направления на объект осуществляется по соотношению амплитуд излучённых (переизлучённых) сигналов от объекта локации, измеренных в приёмных каналах. По сравнению с пеленгацией одиночной ДН «на проходе» (методом так называемого «открытого окна» или «максимума») при МИ амплитуд-

ной пеленгации потенциальная точность возрастает в несколько раз. Так, при условии экспоненциальной аппроксимации ДН, при равной ширине одиночной и моноимпульсных ДН, а также ограничении огибающей на уровне  $-3$  дБ точность определения координат увеличивается в 5 раз. Наличие «недружных» амплитудных флуктуаций в пачке импульсов сигнала от цели при пеленгации «на проходе» несколько увеличивает итоговый «выигрыш» в точности.

Однако, по сравнению с антенным устройством для метода «максимума» к ДН антенн, для МИ метода измерений координат предъявляются сложные, порой противоречивые требования. Так, в общем случае следует одновременно учитывать необходимость формирования пеленгационной характеристики (ПХ) с оптимальным наклоном и размером рабочей зоны, и при этом уровень пересечения МИ ДН должен быть достаточным для обнаружения сигнала. Для обзорной станции по целому ряду

причин должен обеспечиваться некий компромисс между абсолютным уровнем сигнала и шириной линейной области ПХ, которые определяются уровнем пресечения соседних моноимпульсных ДН.

Целью статьи является рассмотрение проблем построения и описание широкополосной (ШП) антенны для моноимпульсного амплитудного метода определения координат для обзорной радиолокационной станции.

### Анализ технических решений

Антенну для реализации МИ радиолокации принято называть по её техническому назначению — то есть моноимпульсной, однако по техническим особенностям она относится к многолучевым антеннам. Далее данные понятия будут использоваться совместно, с учётом того факта, что любая МИ антенна является многолучевой (но не наоборот).

Одним из распространённых способов формирования многолучевой ДН для моноимпульсных измерений координат является использование антенн на основе зеркального рефлектора [1...4]. Известны следующие технические решения формирования моноимпульсных (многолучевых) ДН антенными устройствами на основе параболических зеркальных рефлекторов:

1) Зеркальная антенна (ЗА) с рядом обособленных облучателей, расположенных в районе фокуса и смещённых относительно него в фокальной плоскости [1];

2) ЗА содержащая специализированный облучатель с возможностью возбуждения в его раскрыве различных типов волн для формирования различных типов ДН (в первую очередь суммо-разностных) [2...4];

3) Гибридная ЗА, содержащая зеркало с установленной в районе фокуса облучающей антенной решёткой (ОАР) с возможностью кластерного возбуждения [5, 6]. Это позволяет формировать МИ ДН с практически любым относительным уровнем пересечения [7].

Практическая реализация приведённых технических решений в широкой полосе частот

вызывает трудности. Так, практические рабочие полосы частот облучателя с системой возбуждения различных типов волн (обычно на основе многомодовых волноводных структур и излучателей) ограничиваются десятками процентов, а для эффективных ОАР — октавной полосой. Для ЗА с рядом обособленных облучателей основной трудностью является размещение (компоновка) ШП облучателей в районе фокуса в соответствии с оптимальной величиной отклонения положения от точки фокуса рефлектора. Так известно, что координату размещения  $i$ -го облучателя можно оценить простейшим выражением:

$$x_i = -f_{ЗА} \cdot \operatorname{tg} \frac{\varphi_i}{k_1}, \quad (1)$$

где индекс  $i$  — целое число;  $x_i$  — величина смещения от фокуса поперёк фокальной оси;  $f_{ЗА}$  — фокусное расстояние ЗА;  $\varphi_i$  — требуемый угол отклонения луча ЗА (знак минус в выражении условно демонстрирует направление отклонения луча, противоположное направлению смещения). Коэффициент  $k_1$  ( $k_1 \leq 1$ ) зависит от геометрии зеркала и учитывает то обстоятельство, что в апертуре ЗА, при смещении облучателя, помимо полезной линейной составляющей возникает кубическая фазовая ошибка. Требуемый угол отклонения луча  $\varphi_i$  определяется относительной амплитудой пересечения соседних моноимпульсных ДН  $A_{mi}$  ( $A_{mi} < 1$ ) и при простейшей экспоненциальной аппроксимации ДН вида  $F(\varphi) = e^{-p\varphi^2}$ , равен:

а) для нечётного количества облучателей  $N$ , расположенных симметрично относительно фокусной точки:

$$\varphi_i = 2i \sqrt{-\frac{\ln(A_{mi})}{p}}, \quad (2, a)$$

где  $i = -\frac{N-1}{2} \dots \frac{N-1}{2}$  (причём  $i = 0$  — для неотклонённого луча),

б) для чётного количества облучателей  $N$ , расположенных симметрично относительно фокусной точки:

$$\varphi_i = \operatorname{sgn}(i) \cdot (2(i-1)) \sqrt{-\frac{\ln(A_{mi})}{p}}, \quad (2, б)$$

где  $i = -\frac{N}{2} \dots \frac{N}{2}$ , причём  $i \neq 0$ ;  $\operatorname{sgn}(\cdot)$  — функция знак числа:

$$\operatorname{sgn}(x) = \begin{cases} 1, & x > 0; \\ 0, & x = 0; \\ -1, & x < 0, \end{cases}$$

$p$  — параметр аппроксимации ДН.

В этом выражении не учитывается ДН самих облучателей, а также искажение (расширение) главного лепестка ДН ЗА при значительных отклонениях луча (чем при малых значениях индекса можно пренебречь).

Из выражений (1) и (2) следует, что необходимая величина шага между излучателями определяется параметром  $p$  и уровнем  $A_{mi}$ , являющимися предопределёнными требованиями к антенне, а также фокусным расстоянием  $f_{ЗА}$ . В общем случае величина  $f_{ЗА}$  определяется размером раскрыва ЗА ( $R$ ) и допустимым (необходимым) уровнем облучения краёв (рассмотрено ниже), что также является предопределённым для разработчика антенны требованием.

Реальные геометрические размеры облучателей слабо согласуются с необходимым шагом размещения, определяемым выражением (1). Особенно это критично для обзорных радиолокационных систем, где величину  $A_{mi}$  необходимо минимизировать. В этом случае разработчиками предполагаются следующие технические решения:

а) Корректировка формы образующей рефлектора в плоскости формирования веера лучей, а именно: линейная (например, параболический цилиндр), сферическая (параболоцилиндр) либо апланатическая форма образующей. В частности, при применении рефлектора сферической формы, фокусом будет являться геометрическое место точек, представляющее

собой концентрическую кривую [8]. Это позволяет располагать в фокусе сразу несколько облучателей и сформировать таким образом многолучевую ДН без искажений её отдельных лепестков.

б) Использование вспомогательных зеркальных антенн [8, 9]. Так, наиболее «удачной» является антенная система типа Кассегрена со вспомогательным зеркалом гиперболической формы, снижающим эффект затенения основного зеркала облучателями. Для данной антенны эквивалентное фокусное расстояние (а значит и величина  $x_i$ ) относительно од-

нозеркальной антенны увеличивается в  $\frac{1-\zeta}{1+\zeta}$  раз (где  $\zeta$  — эксцентриситет образующей вспомогательного зеркала:  $1 < \zeta < \infty$ ), что согласно (1) позволяет располагать облучатели с большим шагом.

Однако любая коррекция формы рефлектора (относительно параболоида) приводит к значительным искажениям формы ДН и снижению коэффициента использования поверхности (КИП) ЗА, а использование вспомогательных зеркал значительно усложняет конструкцию антенны. Поэтому широкий технический интерес вызывает возможность формирования моноимпульсной ДН с помощью рефлектора именно параболической формы, поскольку он обладает лучшими характеристиками направленности, нежели, например, сферический при аналогичном размере апертуры.

### Широкополосная МИ ЗА

Рассмотрим многолучевую (моноимпульсную) антенну на основе параболического зеркального рефлектора, в которой для формирования ряда ДН лучей используют облучатели, расположенные вблизи фокуса, причём для формирования ДН каждого луча используется один облучатель. При построении широкополосной ШП МИ ЗА необходимо одновременно решить несколько задач:

1) Широкополосное облучение параболического рефлектора. Известен ряд широкопо-

лосных слабонаправленных излучателей, которые могут быть использованы в качестве облучателей ЗА [10]. Однако в данном случае кроме обеспечения необходимого уровня облучения краёв зеркала в широкой полосе частот, необходим учёт габаритных размеров облучателей (см. следующую задачу).

2) *Оптимальное расположение облучателей ЗА с целью обеспечения необходимого уровня  $A_{ми}$ .* Направление ДН каждого луча  $\varphi_i$  (а значит и уровень  $A_{ми}$ ) определяется отклонением положения фазового центра облучателя от фокальной точки зеркала, т.е. зависит от размера облучателей и возможности расположить их на расстояниях, исключающих их взаимовлияние. Проблема расположения облучателей в районе фокуса и некоторые способы её решений были рассмотрены выше. Для однозеркальной параболической антенны стоит выделить следующие способы: увеличение величины  $f_{ЗА}$  и снижение непосредственно габаритов излучателей (например, [11]).

Величина  $f_{ЗА}$  выбирается обычно минимально возможной с учётом обеспечения максимального значения эффективности антенны (произведения величины КИП и коэффициента перехвата). Для распространённых типов слабонаправленных облучателей максимальные значения эффективности обеспечиваются при углах раскрытия  $\psi_0$ , лежащих в диапазоне  $\psi_0 = 50...70$  градусов. Что с учётом следующей зависимости:

$$f_{ЗА} \approx \frac{R}{2} \operatorname{ctg} \frac{\psi_0}{2},$$

ограничивает относительную величину фокусного расстояния пределом  $\frac{f_{ЗА}}{R} = 0,71...1,07$ .

В свою очередь, максимальный размер апертуры антенны  $R$  имеет ключевое значение для обзорных станций, устанавливаемых на различных подвижных носителях. Т.о., техническая возможность размещения станции, накладывает ограничения на размер апертуры, что, в свою очередь, ограничивает практическую возможность использования величин

$f_{ЗА}$  для увеличения шага между излучателями ЗА.

Однако, при любом допустимом размере апертуры, существует ограничение на шаг между облучателями практических конструкций. Весьма условно это ограничение можно оценить следующим образом. На основании выражения (1) можно показать, что шаг расположения излучателей  $\Delta x$  постоянен для случая  $k_1 = 1$  малых величин  $\varphi_i$ :

$$\Delta x = (0,71...1,07)R \cdot \varphi_i.$$

С учётом выражения (2, б), полагая также, что  $p = \frac{\pi}{\Theta_a^2}$ , где  $\Theta_a$  — ширина ДН на уровне  $e^{-\frac{\pi}{4}} \approx 0,5$  и определяется как  $\Theta_a = \frac{\lambda}{R}$ , получим:

$$\Delta x = (0,81...1,21)\lambda\sqrt{-\ln(A_{ми})}, \quad (3)$$

где  $\lambda$  — длина волны.

Если задаться условием, что шаг между облучателями не может быть меньше их габаритов, которые, в свою очередь, можно условно положить равными половине рабочей длины волны, то нетрудно показать, что величина  $A_{ми}$  не может превышать  $-0,74 \dots -1,65$  дБ.

В данных расчётах не учитывались габариты облучателей практических конструкций, наличие эффектов взаимовлияния облучателей, а также тот факт, что для случая ШП облучателей размеры определяются максимальной длиной волны рабочего диапазона. Для практических конструкций предельные значения  $A_{ми}$  ниже, как минимум, на  $1...2$  дБ (см. таблицу 1).

3) *Частотная стабилизация уровня  $A_{ми}$ .* Известно, что для апертурных антенн величина параметра  $p$  имеет частотную зависимость  $p(f) \sim f^2$ , что приводит к обратной частотной зависимости необходимой величины уровня пересечения  $A_{ми}(f) \sim e^{-f^2}$  и, соответственно, накладывает ограничение на широкополосность моноимпульсных ЗА.

Таблица 1.

$A_{ми} \pm \Delta_{ми}$ , дБ	$f_{min} : f_{max}$	
	Расчётные значения, не более	Значения, достигнутые на практических конструкциях
$1 \pm 0,5$	1:2,6	
$2 \pm 0,5$	1:1,9	
$2 \pm 1$	1:2,6	
$2,2 \pm 0,6$	1:2	1:4 [13]
$2,4 \pm 0,9$	1:2,23	1:2,25 [12]
$3 \pm 1$	1:2,1	
$3 \pm 1,5$	1:2,6	
$3,55 \pm 0,95$	1:2	1:2,25 [11]
$4,5 \pm 2$	1:2,4	1:2,25 [11]

В практических узкополосных приложениях значение величины  $A_{ми}$  является предопределённым требованием, заданным в некоторых пределах ( $A_{ми} \pm \Delta_{ми}$ ). Причём отклонение  $\Delta_{ми}$  характеризует, в первую очередь, технологический разброс изготовления антенны, который, в свою очередь, может составлять десятые доли или единицы дБ. В широкополосных системах ограничение накладываемые на величину  $A_{ми}$  в дополнении к этому будут ограничивать широкополосность.

Представляет практический интерес оценить связь между допустимыми предельными значениями  $A_{ми}$  и полосой частот МИ ЗА. Для этого с помощью (3) проведём исследование величины  $A_{ми}$  для случая некой «идеализированной ЗА» (без технологического разброса параметров), причём влиянием  $\lambda$  на величину  $\psi_0$  условно пренебрегаем. В таблице 1 для некоторых заданных значений и пределов стабильности величины  $A_{ми}$  (с учётом оценки этой величины, сделанной выше, а также практических конструкций [11, 12]) получены максимально возможные значения относительной полосы рабочих частот ( $f_{min} : f_{max}$ ) при расположении облучателей с постоянным шагом  $\Delta x$ .

Из значений, приведённых в таблице 1, следует, что полоса рабочих частот для заданных величин  $A_{ми}$  (без учёта технологического разброса изготовления) не превысила 1:3, что может являться ограничением в практических широкополосных приложениях.

Для частотной стабилизации уровня пересечения используют ряд способов:

- стабилизация ширин МИ ДН с помощью применения рефлекторов с частотнозависимыми отражающими свойствами, реализующими обратную зависимость эффективной

площади антенны от частоты. Этого добиваются либо с помощью радиопоглощающих покрытий, неоднородно наносимых на поверхность рефлектора [14], либо выполнением рефлектора с помощью токопроводящих пластин с переменным шагом [15];

- стабилизация ширин ДН МИ с помощью обратной частотной зависимости ширин ДН облучателей от частоты [12].

Все эти решения приводят к снижению КИП и КУ антенны. В дополнении к этому эффект от их внедрения минимален. Так, согласно таблице 1 практические значения полос частот близки к расчётным (предельным).

Другим способом частотной стабилизации  $A_{ми}$  может стать организация обратной частотной зависимости величины  $\Delta x_i$ .

### Конструкция моноимпульсного облучателя ШП ЗА

Как показано выше, обособленное решение вышеприведённых задач для МИ ЗА на основе параболического рефлектора невозможно. Технические ограничения на величину  $A_{ми}$  и частотную стабильность были рассмотрены выше. Обеспечение высокого уровня пересечения  $A_{ми}$  формируемых ДН моноимпульсных лучей возможно при максимальном сближении фазовых центров МИ облучателей, что, в свою очередь, возможно обеспечить при отсутствии каких-либо конструктивных элементов (в т.ч. элементов облучателя) вблизи фокуса рефлектора, например — с помощью применения об-

лучателей «распределённого» вида. В этом случае каждый МИ облучатель является антенной решёткой из нескольких синфазно запитанных излучателей, смещённых относительно фазового центра (по аналогии с ОАР, но без возможности кластерного возбуждения). Подобные конструкции распределённых излучателей широко используются для формирования направленных ДН облучателей ЗА.

В качестве излучателей (из состава облучателей) могут быть использованы слабонаправленные ШП антенные устройства. Широкий технический интерес представляет использование излучателей логопериодического типа, имеющих компактные размеры в одной из плоскостей (а именно — в Н-плоскости). В дополнение к этому наличие частнозависимой области возбуждения позволяет использовать их для стабилизации величины  $A_{ми}$  в сверхширокой полосе частот при сохранении высоких значений КУ антенны.

На рис. 1, а) приведена конструкция предлагаемой системы облучения ЗА для формирования двух моноимпульсных лучей. В ней предлагается использование в качестве облучателей системы логопериодических излучателей 1...4, симметрично расположенных на немагнитическом основании 5 и сориентированных относительно друг друга определённым образом (см. рис 1, б) и 1, в)).

Система облучения ЗА работает следующим образом. Каждый облучатель состоит из двух логопериодических излучателей, например, первый облучатель образуется двумя излучателями — 1 и 2, второй облучатель — 3 и 4. Таким образом фазовые центры каждого облучателя (расположенные между излучателями) свободны от конструктивных и иных элементов, геометрические размеры которых могут препятствовать их взаимному сближению, а значит могут быть достаточно близки геометрически. Этим обеспечивается возможность реализации достаточно высокого уровня  $A_{ми}$ . Области расположения фазовых центров облучателей условно показаны штриховыми линиями 7 и 8. В данной конструкции фокус

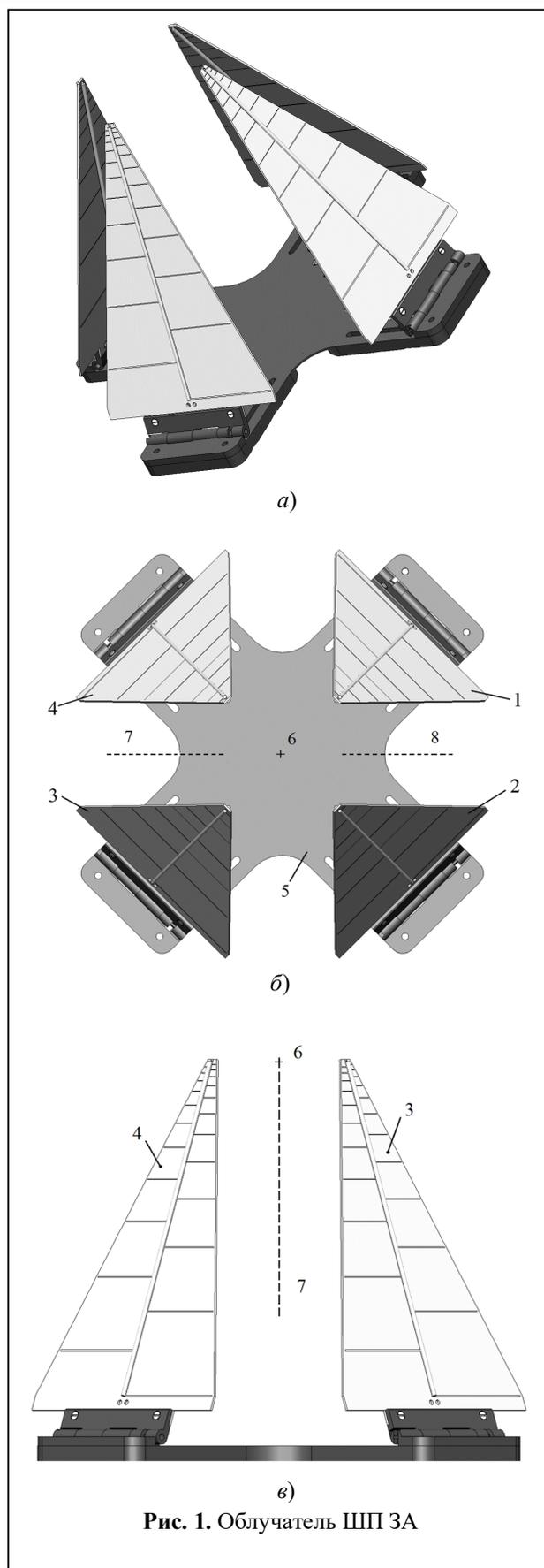


Рис. 1. Облучатель ШП ЗА

параболического рефлектора 6 необходимо располагать в геометрическом центре конструкции равноудалённо от излучателей 1...4.

В дополнении к этому, как следует из конструкции, логопериодические излучатели сориентированы таким образом, чтобы плечи ближайших соседних излучателей (а значит и соответствующие векторы напряжённости поля  $E$ ) были ортогональны (рис. 1). Это способствует снижению эффекта взаимовлияния, который может привести, в частности, к рассогласованию излучателей в составе облучателя. На рис. 2 приведён общий вид моноимпульсной зеркальной параболической антенны.

Ширина ДН параболической антенны (определяемая параметром  $p$ ) зависит от рабочей частоты. Таким образом, при работе в широком и сверхшироком диапазоне частот ширина ДН моноимпульсных лучей может значительно изменяться, а значит и меняется уровень пересечения ДН лучей. В отличие от рассмотренного выше ряда технических решений, призванных стабилизировать  $A_{ми}$  с помощью стабилизации ширин МИ ДН, в приведённой конструкции (рис. 1) реализован эффект перемещения фазовых центров облучателей в областях 7 и 8 в зависимости от рабочей частоты с целью компенсировать изменения уровня пересечения ДН лучей. Это реализовано за счёт идентичности конструкции логопериодических излучателей, их наклона (ориентации) и эффекта смещения области возбуждения (и соответственно фазового центра) логопериодического излучателя в зависимости от рабочей частоты. Таким образом, за счёт частотной зависимости величины  $\Delta x$  осуществляется некоторая стабилизация величины  $A_{ми}$ .

Согласно (3) качество данной стабилизации будет зависеть от выполнения условия пропорциональной зависимости  $\Delta x$  от длины волны  $\lambda$  ( $\Delta x \sim \lambda$ ), что в описываемой конструкции

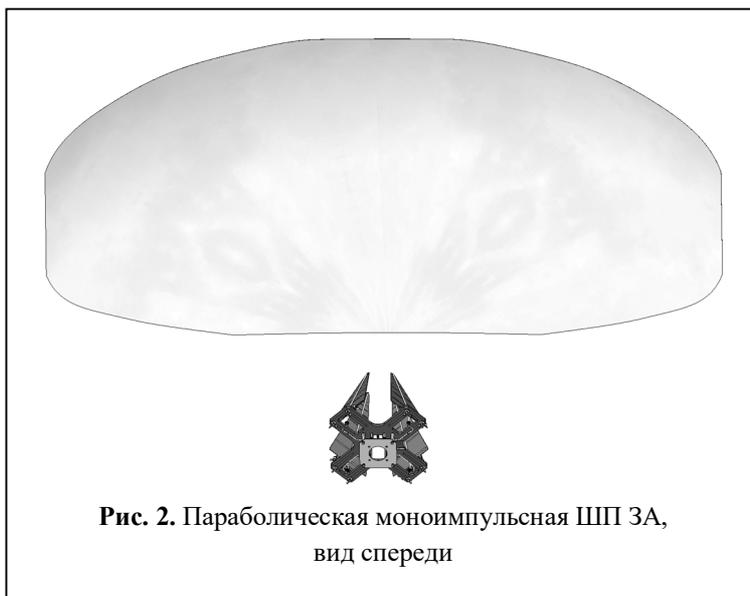


Рис. 2. Параболическая моноимпульсная ШП ЗА, вид спереди

на основе логопериодических излучателей трудно обеспечить. Дополнительным источником нестабильности являются: эффекты активного и пассивного взаимовлияния излучателей, некоторая условность, принимаемая при выводе выражения (3), а также побочная дефокусировка по причине частотнозависимого смещения фазовых центров облучателей вдоль фокальной оси параболического рефлектора и соответствующее изменение ширины ДН моноимпульсных лучей. Численный учёт всех

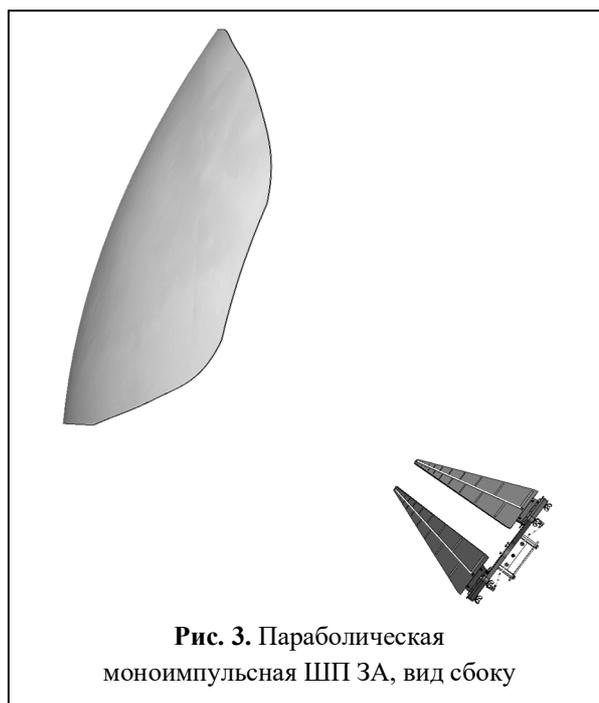


Рис. 3. Параболическая моноимпульсная ШП ЗА, вид сбоку

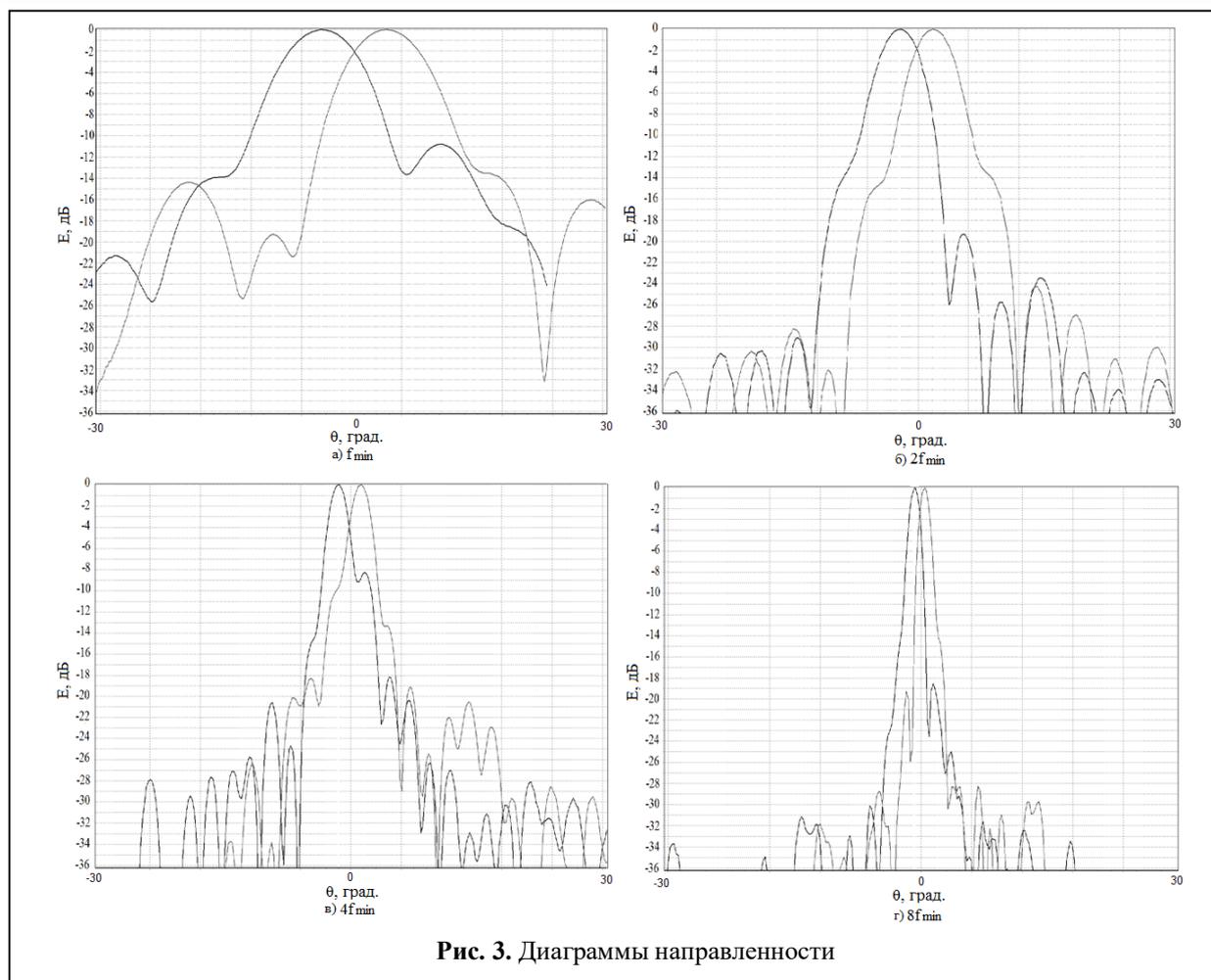


Рис. 3. Диаграммы направленности

этих явлений довольно сложен.

В связи с этим широкой интерес представляют результаты измерения практической конструкции антенны на основе предлагаемой системы облучения. Макет представляет собой усечённый (офсетный) параболический рефлектор, с установленной в фокусе облучающей системой. Величина КСВН излучателей макета в составе облучающей системы в относительной полосе частот 1:8 — не более 2,5. Для формирования моноимпульсных ДН использовались синфазные развязанные делители СВЧ, подключённые к излучателям 1,2 и 3,4 (см. рис. 1, б).

На рис. 3 показаны результаты измерения ДН моноимпульсных лучей в горизонтальной плоскости для частот  $f_{\min}$ ,  $2f_{\min}$ ,  $4f_{\min}$ ,  $8f_{\min}$  (рис. 3, а), б), в), г) соответственно). Поляризация приведённых ДН — вертикальная. Анализ

результатов показал, что разброс величины  $A_{mi}$  составил  $-2 \dots -4$  дБ. В то время как согласно (3) для МИ ЗА с обособленными излучателями ( $\Delta x = const$ ) аналогичный разброс величины  $A_{mi}$  обеспечивается в относительной полосе частот не превышающей 1:2,6.

### Заключение

Приведённая конструкция системы облучения ЗА позволяет построить ШП ЗА со стабилизированной величиной уровня пересечения моноимпульсных ДН. В данной конструкции сближение фазовых центров облучателей обеспечивается расположением, ориентацией и, непосредственно, компактной конструкцией самих излучателей. В результате макетирования была продемонстрирована работоспособность конструкции при стабильности величины в пределах значений  $A_{mi} = 3 \pm 1$  дБ в полосе

частот не менее 3-х октав.

Стоит отметить некоторые перспективные технические возможности использования данной ШП ЗА в случае организации параллельной обработки сигналов от четырёх излучателей:

- 1) возможность одновременного формирования 2-х МИ ДН в двух ортогональных плоскостях;
- 2) возможность одновременного формирования МИ ДН для всех возможных видов поляризации.

#### Литература

1. Скольник М. Справочник по радиолокации. Том 4. М.: Сов. радио, 1978. 376 с.
2. Белоцерковский Г.Б. Основы радиотехники и антенны. В 2-х ч. Ч. II. Антенны. М.: Радио и связь, 1983. 296 с.
3. Коровкин А.Е., Раздоркин Д.Я., Шипулин А.В. Моноимпульсный облучатель зеркальных антенн на высших типах волн // Антенны. 2012. Вып. 9 (184). С. 14–18.
4. Пат. РФ №2236728. Моноимпульсный облучатель / Синани А.И., Алексеев О.С., Позднякова Р.Д. [и др.]. Заявл. 05.05.2003; опубл. 20.09.2004.
5. Виленко И.Л., Кривошеев Ю.В., Шишлов А.В. Гибридные зеркальные антенны с облучающими активными фазированными решетками // Антенны. 2011. № 10. С. 22–42.
6. Пат. РФ №2392703. Сканирующая гибридная зеркальная антенна / Верба В.С., Егоров М.А., Неронский Л.Б., Осипов И.Г. Заявл. 21.05.2009; опубл. 20.06.2010.
7. Пат. РФ №2694460. Способ сканирования луча гибридной зеркальной антенны / Андрианов В.И., Осипов И.Г., Турук В.Э. Заявл. 15.03.2018; опубл. 15.07.2019.
8. Бахрах Л.Д., Галимов Г.К. Зеркальные сканирующие антенны: Теория и методы расчета. М.: Наука, 1981. 302 с.
9. Гостев В.И., Гряник М.В., Худолий Д.А. Многофункциональные зеркальные антенны. Киев: Радиоаматор, 1999. 317 с.
10. Сверхширокополосные антенны: пер. с англ. С.В. Попова, В.А. Журавлева / под ред. Л.С. Бененсона. М.: Мир, 1964.
11. Пат. РФ №2099836. Широкополосная четырехлучевая зеркальная антенна (варианты) / Бобков Н.И., Бочарников А.А., Каиубин Б.Т. [и др.]. Заявл. 26.09.1994; опубл. 20.12.1997.
12. Пат. РФ № 2342748. Широкополосная многолучевая зеркальная антенна / Бобков Н.И., Лизуро В.И., Перунов Ю.М. [и др.]. Заявл. 16.04.2007; опубл. 27.12.2008.
13. Бобков Н.И., Проживальский В.В., Глушкин В.А., Гондаренко Е.А. Формирование пеленгационных характеристик широкополосных многолучевых зеркальных антенн // Антенны. 2023. № 6. С. 5–13.
14. Басков К.М., Бобков Н.И., Краснолобов И.И., Семенов В.Н. Математическое моделирование сверхширокополосной многолучевой зеркальной антенны // Журнал радиоэлектроники. 2013. № 4. С. 11.
15. Пат. РФ № 2234774. Многолучевая зеркальная антенна / Савеленко А.А., Курносенко В.Н., Нартов С.В. [и др.]. Заявл. 08.01.2002; опубл. 20.08.2004.

Поступила 30 октября 2024 г.

English

## MONOPULSE BROADBAND ANTENNA

**Roman Olegovich But** — Design Engineer, Typhoon JSC.

E-mail: [madara\\_40\\_rus@mail.ru](mailto:madara_40_rus@mail.ru)

**Nikolay Viktorovich Samburov** — Head of the Laboratory, Typhoon JSC.

E-mail: [sambyrov.n.v@yandex.ru](mailto:sambyrov.n.v@yandex.ru)

Address: 248009, Russian Federation, Kaluga, Grabtsevskoe Ave., 174.

**Abstract:** The directional patterns (DP) of antennas for the monopulse (MP) coordinate measurement method have complex, sometimes contradictory, requirements. For a survey station, for a number of reasons, some kind of compromise must be provided between the absolute signal level and the width of the linear area of the direction finding characteristic (DFC), which are determined by the level of suppression of neighboring monopulse DP. The purpose of the article is to consider the problems of constructing and describing a broadband antenna for a monopulse amplitude coordinate determination method for a survey radar station. In the process of analyzing existing technical solutions and developing new ones, the primary focus is on the level of intersection of monopulse patterns and its stability across the operating frequency band. It is demonstrated that the wideband performance of monopulse radiation patterns in a parabolic reflector antenna is limited by both

the required intersection level and its stability. A numerical analysis of several technical solutions was conducted to enhance the stability of the intersection level. The article proposes a design for a reflector antenna feed system based on log-periodic radiators. In this design, the alignment of the phase centers of the radiators is achieved through their precise positioning, orientation, and the compact design of the radiators themselves. The results of modeling a parabolic reflector antenna using this feed system are presented. Through prototyping, the functionality of the design was confirmed, demonstrating stability in the radiation pattern intersection level within a range of  $3 \pm 1$  dB across a frequency band of at least three octaves.

**Keywords:** radar, monopulse method, antenna, radiation pattern, irradiator.

#### References

1. *Skolnik M.* Handbook of radar. Vol. 4. Moscow: Sov. Radio, 1978. 376 p
2. *Belotserkovsky G.B.* Fundamentals of radio engineering and antennas. In 2 parts. II. Antennas. Moscow: Radio i Svaz', 1983. 296 p.
3. *Korovkin A.E., Razdorkin D.Ya., Shipulin A.V.* Monopulse irradiator of mirror antennas at higher types of waves. *Antenny.* 2012. Iss. 9 (184). Pp. 14-18.
4. RU Pat. No. 2236728. Monopulse beam. *A.I. Sinani, O.S. Alekseev, R.D. Pozdnyakova* [et al.]. Appl. 05.05.2003; publ. 20.09.2004.
5. *Vilenko I.L., Krivosheev Yu.V., Shishlov A.V.* Hybrid mirror antennas with irradiating active phased arrays. *Antenny.* 2011. No. 10. Pp. 22–42.
6. RU Pat. No. 2392703. Scanning hybrid mirror antenna. *V.S. Verba, M.A. Egorov, L.B. Neronsky, I.G. Osipov.* Appl. 21.05.2009; publ. 20.06.2010.
7. RU Pat. No. 2694460. Method of scanning the beam of a hybrid mirror antenna. *V.I. Andrianov, I.G. Osipov, V.E. Turuk.* Appl. 15.03.2018; publ. 15.07.2019.
8. *Bakhakh L.D., Galimov G.K.* Mirrored scanning antennas: Theory and calculation methods. Moscow: Nauka, 1981. 302 p.
9. *Gostev V.I., Gryanik M.V., Khudoliy D.A.* Multifunctional mirror antennas. Kiev: Radioamator, 1999. 317 p.
10. Ultra-broadband antennas: translated from English by *S.V. Popov, V.A. Zhuravlev*; edited by *L.S. Benenson.* Moscow: Mir, 1964.
11. RU Pat. No. No. 2099836. Broadband four-beam mirror antenna (variants). *N.I. Bobkov, A.A. Bocharnikov, B.T. Kashubin* [et al.]. Appl. 26.09.1994; publ. 20.12.1997.
12. RU Pat. No. No. 2342748. Broadband multipath mirror antenna. *N.I. Bobkov, V.I. Lizuro, Yu.M. Perunov* [et al.]. Appl. 16.04.2007; publ. 27.12.2008.
13. *Bobkov N.I., Zhilalsky V.V., Gluskin V.A., Gondarenko E.A.* Formation of direction-finding characteristics of broadband multipath mirror antennas. *Antenny.* 2023. No. 6. Pp. 5–13.
14. *Baskov K.M., Bobkov N.I., Krasnolobov I.I., Semenenko V.N.* Mathematical modeling of an ultra-wide-band multipath mirror antenna. *Journal of Radio Electronics.* 2013. No. 4. P. 11.
15. RU Pat. No. No. 2234774. Multipath terrestrial antenna. *A.A. Savelenko, V.N. Kurnosenko, S.V. Nartov* [et al.]. Appl. 16.04.2007; publ. 27.12.2008.