

## АЛГОРИТМ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ФИЛЬТРАЦИИ ПОМЕХ

А. С. Першин

ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева»  
Россия, 662972, г. Железногорск Красноярского края, ул. Ленина, 52  
E-mail: pershin@iss-reshetnev.ru

*Рассмотрена реализация адаптивной многолучевой антенны на базе гибридно-зеркальной антенны. Антенна формирует набор лучей на заданную зону обслуживания по кластерной схеме, каждый облучатель решетки участвует в формировании до семи лучей.*

*Каждый луч антенны работает независимо и за счет синтеза амплитудно-фазового распределения облучателей формировать провалы ДН в направлении помех как в направлении боковых лепестков ДН, так и в области главного лепестка ДН.*

*Рассматриваемый в статье алгоритм синтеза позволяет обеспечить подавление одновременно одной помехи в области главного лепестка ДН и до 4-5 помех в направлении боковых лепестков ДН антенны.*

*Ключевые слова: гибридно-зеркальная антенна, адаптивная многолучевая антенна, кластер, алгоритм синтеза ДН.*

## ALGORITHMS OF SPATIAL NOISE FILTERING

A. S. Pershin

JSC "Academician M. F. Reshetnev "Information Satellite Systems"  
52 Lenin str., Zheleznogorsk, Krasnoyarsk region, 662972, Russia  
E-mail: pershin@iss-reshetnev.ru

*The article describes implementation of adaptive multibeam antenna based on the hybrid-reflector antenna. The antenna generates a set of rays on a given service area of the cluster scheme, each illuminator array involved in the formation of up to seven rays.*

*Each beam antenna operates independently and through the synthesis of the amplitude-phase distribution irradiators shape dips in the direction of main lobe pattern as an interference in direction of the side lobe, as well as in the area of the main lobe.*

*The synthesis algorithm, considered in the article, enables simultaneous suppression of one disturbance in the main lobe and to 4–5 in the direction of the side lobes of the antenna.*

*Keywords: hybrid-reflector antennas, adaptive multibeam antenna cluster.*

В настоящее время системы спутниковой связи имеют исключительно важное значение для обеспечения устойчивой связи на территории Российской Федерации. Одной из задач, которую должна решать спутниковая связь это обеспечение устойчивой и помехозащищенной связи в заданной зоне обслуживания.

Для обеспечения помехоустойчивой связи в условиях воздействия направленных помех в составе КА необходимо использовать адаптивные антенны с управляемой ДН. Такие антенны формируют провал ДН в направлении помехи для ее подавления.

По вариантам реализации адаптивные антенны можно разделить на два основных типа:

1. Фазированные антенные решетки;
2. Гибридно-зеркальные антенны.

Фазированные антенные решетки (ФАР) обладают рядом преимуществ такими как: возможность работы в широком секторе углов, формирование лучей быстросканирующих лучей в пределах всей зоны обслу-

живания (ЗО) и малыми габаритами. Однако к недостаткам ФАР стоит отнести большую массу антенны и высокую стоимость разработки и создания летного образца антенны [2].

Гибридно-зеркальные антенны (ГЗА) наоборот обладают малой массой, но ограниченным сектором рабочих углов и невозможность сканировать ДН антенны в пределах ЗО.

Применительно к КА, работающим на геостационарной орбите, недостатки гибридно-зеркальной антенны компенсируются малой зоной обслуживания антенны ( $\pm 9^\circ$ ) и возможность покрыть ЗО набором узких лучей и гибко перераспределять ресурсы КА в пределах ЗО.

Рассмотрим принципы работы адаптивных ГЗА применительно к КА, работающим на ГСО. Для обеспечения высоких энергетических показателей необходимо построить ГЗА по кластерной схеме формирования лучей.

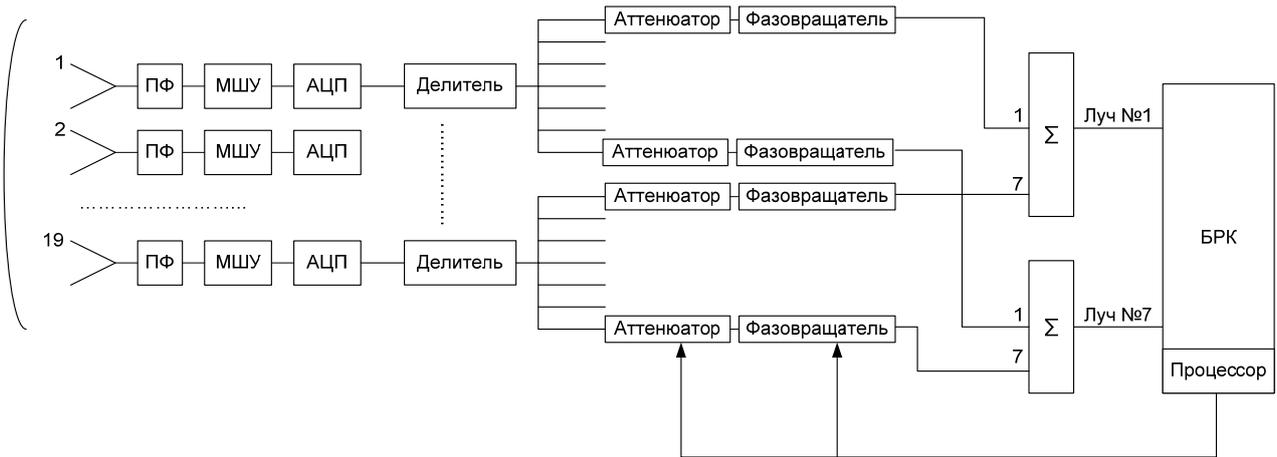


Рис. 1. Структурная схема адаптивной ГЗА

В схеме каждый облучатель антенны участвует в формировании до 7 лучей [1]. Кроме того за счет изменения амплитудно-фазового распределения (АФР) семерки облучателей можно формировать ДН антенны требуемой формы, например формировать провалы в ДН антенны (рис. 1).

Принимаемые сигналы усиливаются до требуемого уровня малошумящим усилителем (МШУ) и затем преобразовывается в цифровой сигнал. Дальнейшие преобразования с сигналом осуществляются в цифровой диаграммообразующей схеме (ЦДОС). Применение ЦДОС позволяет уменьшить массогабаритные показатели антенны по сравнению с аналоговой ДОС [4].

Далее сигнал от каждого облучателя делится на семь, по частоте луча антенны и затем поступают на сумматоры имеющие 7 входов для каждого облучателя и один выход соответствующий одному лучу антенны. Формирование АФР осуществляется за счет аттенюатора и фазовращателя, управление ими осуществляется бортовым процессором КА.

В общем случае ДН в дальней зоне многолучевой антенны (МЛИА) при работе в кластере записывается в виде [3]:

$$|E(W_j, \theta_i, \varphi_i)|^2 = \left| \sum_{j=1}^{N_{изп}} E_{ij} \cdot W_j \right|^2 \quad (1)$$

где  $W_j = A_j \cdot e^{j\varphi_j}$  – весовой коэффициент облучателя;  $E_{ij}$  – ДН от  $j$ -го облучателя в  $i$ -ом направлении наблюдения;  $|E(W_j, \theta_i, \varphi_i)|^2$  – требуемая ДН антенны.

Величина  $E_{ij}$  является заранее известной величиной и в процессе синтеза АФР является константой для определенной точки  $\theta_i, \varphi_i$ . Для ускорения расчета АФР ограничим функцию (2) набором точек задаваемых программно. В каждой точке задается требуемое значение уровня сигнала.

Набор весовых коэффициентов зададим в виде вектора  $W = [W_1, W_2, \dots, W_j]^T$

Для синтеза АФР семерки облучателей и формирования провалов ДН применим следующий алгоритм:

1. Алгоритм синтеза начинает работу с некоторого начального состояния, например синфазное равноамплитудное распределение решетки. Вычисляется разница между полученными значениями и требованиями  $\Delta E$ .

2. Из набора  $\Delta E$  полученного в пункте 1 находится та точка в которой наблюдается максимальное расхождение начального состояние и требуемого ( $\Delta E_{\max}$ ).

3. Вычисляется градиент вектора  $\left[ \frac{\partial E}{\partial W_1}, \frac{\partial E}{\partial W_2}, \dots, \frac{\partial E}{\partial W_j} \right]^T = \nabla E$  в точке максимального расхождения;

4. Заменить вектор-параметр его новым значением  $W_1 = W_0 - \alpha \cdot \nabla E$ , если  $f(y_{\max}) > 0$  или  $W_1 = W_0 + \alpha \cdot \nabla E$ , если  $f(y_{\max}) < 0$ , где  $\alpha$  – размер шага;

5. Вернуться к шагу 1 и повторить процесс пока  $\|W_1 - W_0\| < \varepsilon$ .

6. Значения  $\alpha$  и  $\varepsilon$  задаются перед началом синтеза.

На основе рассмотренного выше алгоритма проведен синтез АФР для ГЗА формирующей набор из семи лучей шириной  $1^\circ \times 1^\circ$ . Результаты синтеза приведены на рис. 2–5.

Как показали результаты моделирования рассмотренная схема построения адаптивной ГЗА, позволяет подавлять одну помеху в пределах центрального лепестка ДН и до 3-4 помех в пределах боковых лепестков ДН антенны на уровни до минус 50 дБ. При этом сохраняется уровень сигнала в остальной зоне обслуживания при подавлении четырех помех одновременно.

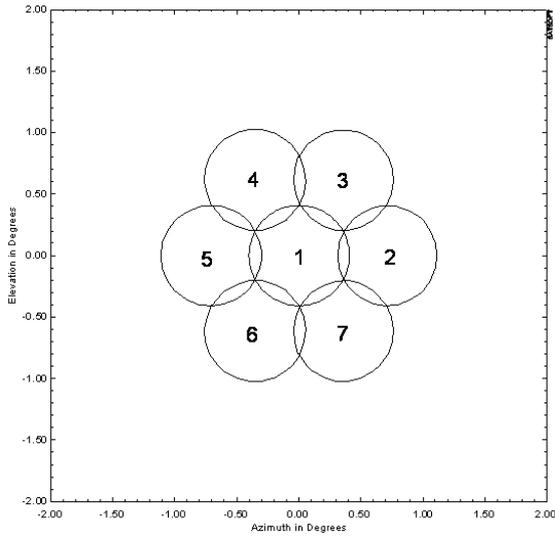


Рис. 2. Набор лучей шириной  $1^\circ \times 1^\circ$

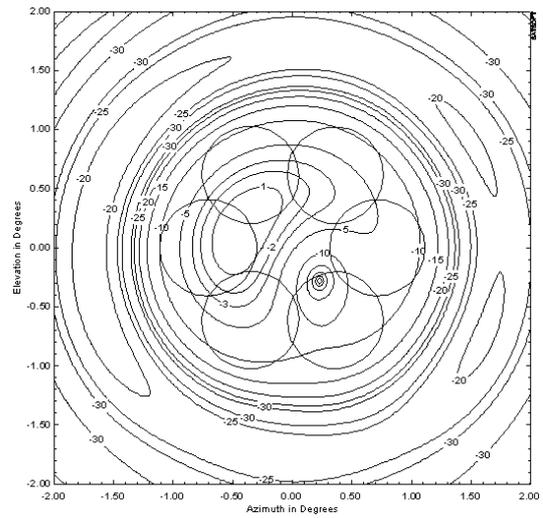


Рис. 3. Подавление помехи центральным лучом

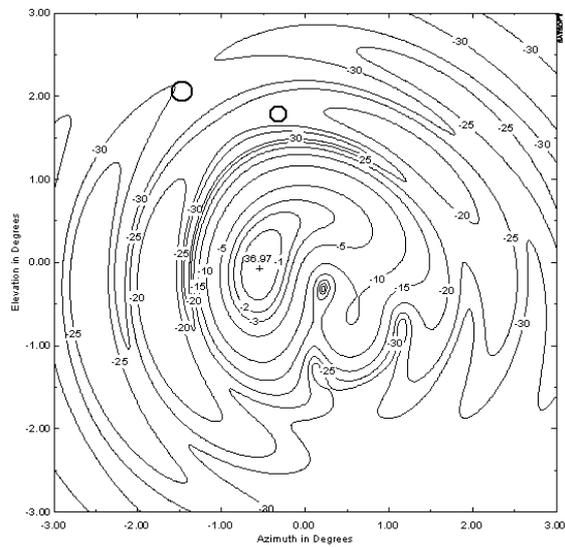
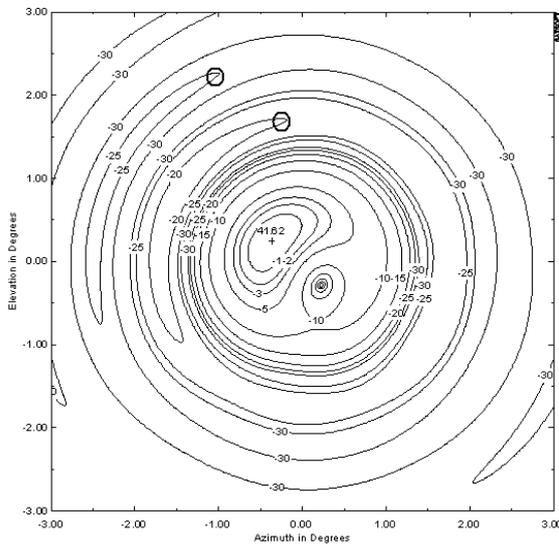


Рис. 4. Подавление трех боковых лепестков ДН центрального луча адаптивной ГЗА. Слева ДН до подавления боковых лепестков ДН, справа после синтеза АФР и подавления боковых лепестков ДН

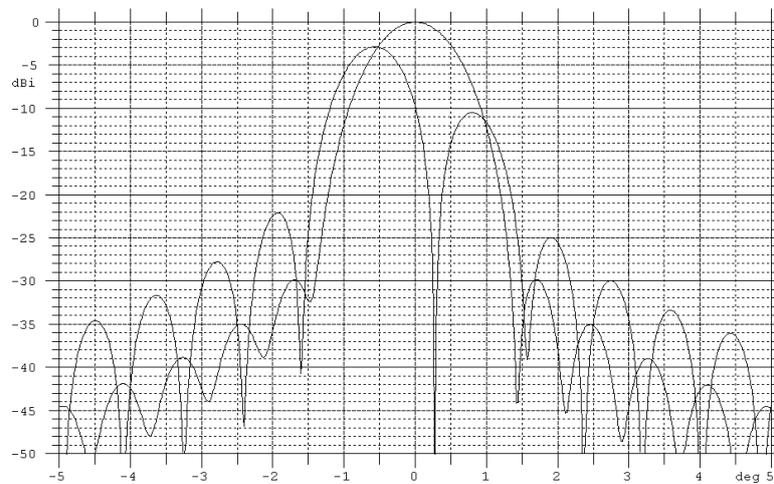


Рис. 5. ДН антенны до и после формирования провала

**Библиографические ссылки**

1. Першин А. С., Сошенко Ю. И. Многолучевые антенны с кластерной схемой // Решетневские чтения : материалы конф. 2011. Ч. 1. С. 34.
2. 30th ESA Antenna Workshop on Antennas for Earth Observation, Science, Telecommunication and Navigation Space Missions, 2008. 586 с.
3. Айзенберг Г. З., Ямпольский В. Г., Терешин О. Н. Антенны УКВ. Ч. 1. М. : Связь, 1977. 380с.
4. Айзенберг Г. З., Ямпольский В. Г., Терешин О. Н. Антенны УКВ. Ч. 2. М. : Связь, 1977. 288с.

**References**

1. Pershin A. S., Soshenko Yu. I. Multibeam antenna with cluster scheme. Conference Proceedings "Reshetnev read", 2011, ch. 1. p. 34.
2. 30th ESA Antenna Workshop on Antennas for Earth Observation, Science, Telecommunication and Navigation Space Missions, 2008. 586 p.
3. Eisenberg G. Z., Yampolsky V. G., Tereshin O. N. Antennas UHF. P. 1. Publisher "Communication", Moscow, 1977. 380 p.
4. Eisenberg G. Z., Yampolsky V. G., Tereshin O. N. Antennas UHF. P. 2. Publisher "Communication" Moscow, 1977. 288 p.

© Першин А. С., 2013

УДК 621.396.67

**МЕТОДЫ КЛАССИФИКАЦИИ СЛУЧАЙНЫХ СИГНАЛОВ  
В СИСТЕМАХ КОНТРОЛЯ РАДИОЧАСТОТНОГО СПЕКТРА**П. В. Семкин<sup>1</sup>, А. В. Кузовников<sup>2</sup>, В. Г. Сомов<sup>2</sup>, Н. А. Тестоедов<sup>1</sup><sup>1</sup>ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева»  
Россия, 662972, г. Железнодорожск Красноярского края, ул. Ленина 52. E-mail: psemkin@yandex.ru<sup>2</sup>Сибирский государственный аэрокосмический университет им. академика М. Ф. Решетнева  
Россия, 660014, Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31. E-mail: ujub@list.ru

*Рассмотрены методы определения модуляции радиосигналов, применяемые в современных системах контроля радиочастотного спектра. Проведен сравнительный анализ различных методов, представлены результаты имитационного моделирования.*

*Ключевые слова: обработка сигналов, вид модуляции, системы радиоконтроля, имитационное моделирование.*

**RANDOM SIGNALS CLASSIFICATION METHODS IN SYSTEM  
OF RADIOFREQUENCY SPECTRUM CONTROL**P. V. Semkin<sup>1</sup>, A. V. Kuzovnikov<sup>2</sup>, V. G. Somov<sup>2</sup>, N. A. Testoedov<sup>1</sup><sup>1</sup>JSC "Academician M. F. Reshetnev "Information Satellite Systems"  
52 Lenin str., Zhelenogorsk, Krasnoyarsk region, 662972, Russia. E-mail: psemkin@yandex.ru<sup>2</sup>Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev  
31 "KrasnoyarskiyRabochiy" prosp., Krasnoyarsk, 660014, Russia. E-mail: ujub@list.ru

*Methods of radiosignal modulation determination using in modern systems of radiofrequency spectrum control is described. Comparative analysis of different methods is carried out, results of imitation modeling is present.*

*Keywords: signal processing, modulation type, radiocontrol systems, imitation modeling.*

В современных условиях развития систем радиосвязи значительную роль играет возможность контролировать загрузку радиочастотного спектра. На сегодняшний день ограниченный радиочастотный ресурс используется одновременно множеством наземных и космических средств связи. В связи с этим актуальной становится задача технического анализа радиосигналов. Одним из аспектов технического анализа является оценка вида модуляции контролируемого сигнала – решение данной задачи позволяет проводить дальнейшее вскрытие сигнально-кодовой конструкции.

На данный момент существует несколько перспективных направлений в исследованиях по определению вида модуляции. Анализ тенденций развития в данной области позволяет выявить основное направление развития – повышение степени априорной неопределенности о наличии и виде сигнала. Эта тенденция имеет фундаментальное значение и показывает неэффективность классических методов статистической обработки сигналов в современных условиях. При этом разработка подобных методов все-таки опирается на некоторое описание сигнала – в частности