

УДК 621.396.677

А.С. Першин

Методы пространственной фильтрации помех

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 позволяет формировать провалы диаграммы направленности в направлении помех как в боковых лепестках, так и в главном.

Ключевые слова: гибридно-зеркальная антенна, адаптивная многолучевая антенна, кластер, алгоритм синтеза диаграммы направленности.

К настоящему времени определены основные требования к перспективным системам спутниковой связи. Это существенное расширение пропускной способности каналов связи, освоение новых частотных диапазонов, возможность гибкого управления трафиком в зависимости от нагрузки на канал связи, подразумевающая формирование многолучевых диаграмм направленности (ДН) в пределах зоны обслуживания, высокая помехоустойчивость при воздействии как преднамеренных, так и промышленных помех [1]. Существуют различные методы подавления помех для спутниковых систем (рис. 1).

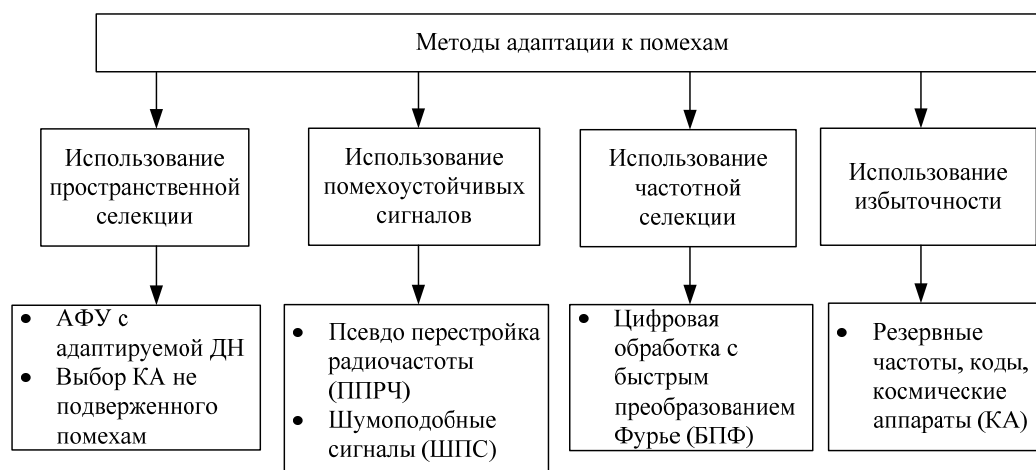


Рис. 1. Методы и средства адаптации к помехам

Очевидно, что обычные спутниковые ретрансляторы с прямой передачей не обеспечивают соответствующую помехозащищенность для обеспечения связи между небольшими терминалами в условиях радиопротиводействия. В тех случаях, когда станция радиоэлектронного подавления (РЭП) значительно мощнее станции пользователя, большая часть эквивалентной излучаемой мощности спутника «отбирается» станцией РЭП и наблюдается эффект подавления слабых сигналов сильными. Поэтому для систем космической связи целесообразно использовать ретрансляторы с обработкой сигналов на борту. В таких ретрансляторах производится полная регенерация сигналов и отсутствуют проблемы «отбора» мощности помехами.

Методы адаптации к помехам, такие как использование помехоустойчивых сигналов, использование частотной селекции и использование избыточности, функционально относятся к аппаратуре ретрансляции и позволяют достичь уровня помехозащищенности порядка 15–25 дБ в зависимости от выделенной полосы пропускания и информационной скорости в канале.

Использование адаптивных антенн с пространственной селекцией позволяет дополнительно повысить уровень помехозащищенности на 20–30 дБ путем формирования провалов в ДН в направлении на источники помех и пассивного управления боковыми лепестками приемной спутниковой

антенны. Однако необходимо учитывать, что если источник помехи расположен в зоне обслуживания, то использование пространственной селекции приводит к потере части зоны обслуживания.

Решение поставленных задач возможно либо на основе адаптивных фазированных антенных решеток (АФАР), либо на основе адаптивной многолучевой антенны (АМЛА). АФАР обладают значительными преимуществами перед другими типами антенн по скорости управления и многофункциональности работы.

К достоинствам АФАР можно также отнести:

- возможность осуществления сканирования в широком секторе рабочих углов (по сравнению с АМЛА);
- увеличение надежности антенной системы в целом, так как выход из строя одного или нескольких элементов не приводит к существенному ухудшению характеристик антенны в целом;
- для данного класса антенн существует много хорошо отработанных алгоритмов адаптации.

Однако следует отметить, что при формировании достаточно узких ДН или при реализации набора узких лучей данный тип антенн имеет чрезмерно сложную диаграммообразующую схему (ДОС). Для уменьшения количества управляемых элементов используются, как правило, решетки с матричным возбуждением (на основе матриц Батлера, Бласса). При этом данные схемы возбуждения не обладают достаточной гибкостью и пригодны лишь для формирования широко разнесенных лучей без их плавного сканирования. Схемы с пространственным возбуждением являются более предпочтительными при формировании набора узких лучей. Но они значительно сложнее по сравнению с матричными ДОС и требуют применения управляемых фазовращателей и делителей мощности.

Кроме того, использование АФАР на КА также имеет свои особенности с точки зрения обеспечения минимальных массогабаритных характеристик. Коэффициент усиления (КУ) и разрешающая способность по пространственной селекции для АФАР определяются площадью апертуры. При необходимости иметь высокое значение коэффициента усиления в условиях ограниченных зон размещения необходимо иметь возможность трансформирования антенн из транспортировочного состояния в рабочее. В АФАР с размещенными на ней элементами ДОС при трансформировании возрастают потери в фидерных трактах. При этом выигрыш в коэффициенте усиления за счет увеличения площади апертуры при ее трансформации сводится к минимуму.

Во многих случаях более перспективным является применение антенной решетки со сравнительно небольшим числом элементов, используемой в качестве облучателя фокусирующего квазиоптического элемента зеркала. Такие антенные устройства, представляющие собой совокупность зеркала или линзы и облучающей решетки, получили название гибридных антенн. Облучающая решетка обычно называется групповым облучателем. АМЛА сочетают в себе достоинства высокоэф-

фективных зеркальных антенн и антенных решеток. АМЛА позволяют формировать перестраиваемые в темпе времени многолучевые ДН и ДН специальной формы, обеспечивать пространственную фильтрацию сигналов и помех и адаптироваться к собственным отказам облучающей антенной решетки.

В качестве примера рассмотрим гибридно-зеркальную антенну, состоящую из 19 облучателей, лучи формируются по кластерной схеме. Количество лучей определяется исходя из требуемой зоны обслуживания. Каждый луч антенны формируется семеркой облучателей, при этом каждый облучатель решетки участвует в формировании от 1 до 7 лучей в зависимости от своего положения в решетке (рис. 2) [2]. Для обеспечения развязки между одновременно существующими лучами организовано частотное разделение лучей.

При возникновении помехи система изменяет амплитудно-фазовое распределение (АФР) на облучателях для формирования провала ДН в

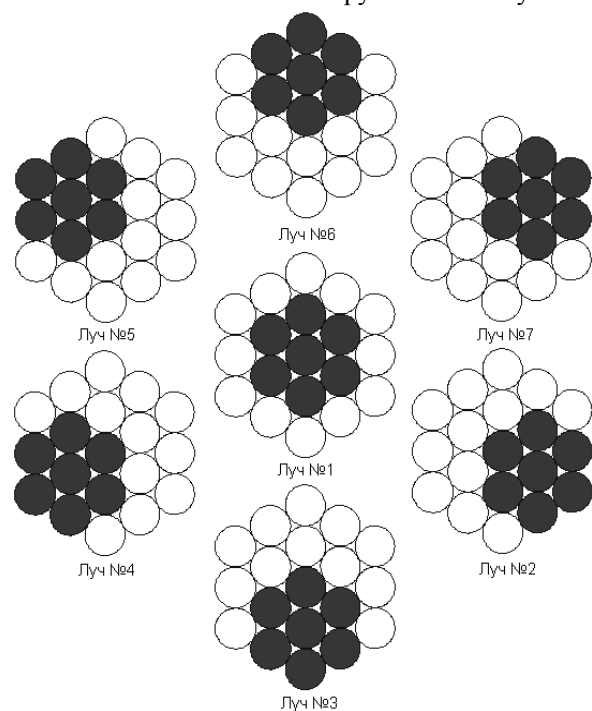


Рис. 2. Схема формирования лучей

направлении помехи. Антенна использует заранее синтезированные варианты АФР, которые занесены в память, либо использует бортовой процессор для синтеза АФР. Поскольку каждому облучателю гибридно-зеркальной антенны соответствует своя фиксированная зона обслуживания, это позволяет априорно определить направление помехи в небольшой зоне. Антенна формирует провалы ДН в пределах данной зоны до достижения требуемого значения сигнал/шум.

Для подтверждения результатов моделирования и апробации полученных результатов был создан макет адаптивной многолучевой антенны (рис. 3). Измерения радиотехнических характеристик макета антенны проводились в безэховой камере (БЭК) на сканере ближнего поля. Облучающая решетка содержит семь конических рупоров. Результаты измерений ДН антенны в неадаптивном и адаптивном режимах приведены на рис. 4.

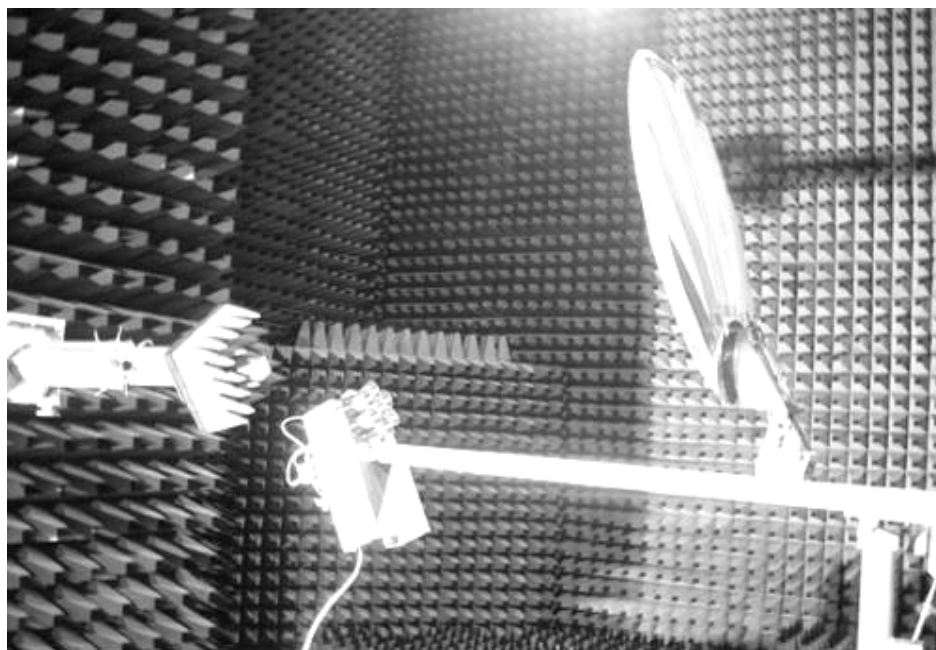


Рис. 3. Макет адаптивной многолучевой антенны на базе гибридно-зеркальной антенны

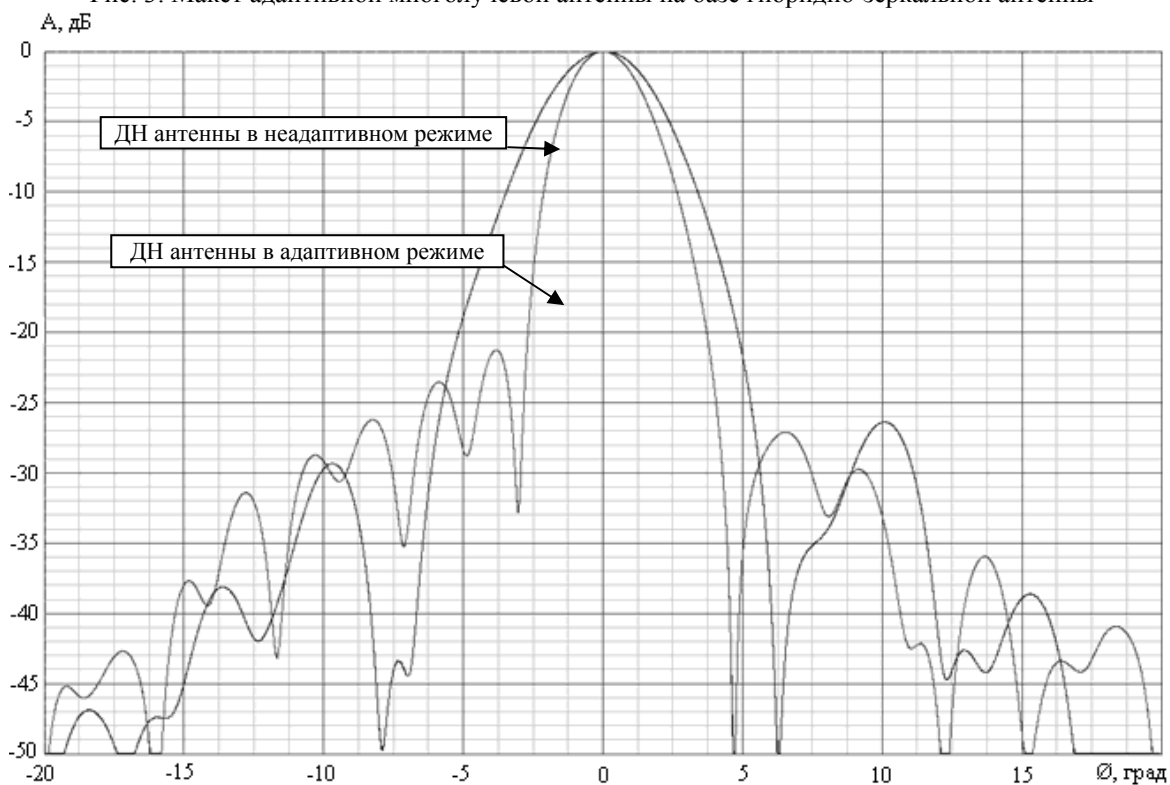


Рис. 4. Результаты измерений нормированной ДН антенны

Как видно из диаграммы макета адаптивной МЛА, решетка из 7 конических рупоров, запитанных равноамплитудно и синфазно, формирует луч шириной 3×3 , а при запитывании одного из рупоров противофазно обеспечивает подавление помехи на 25–30 дБ. При этом сохраняется уровень сигнала для остальной части зоны обслуживания, что подтверждается результатами моделирования, измерениями макета гибридно-зеркальной антенны и соответствует предъявляемым требованиям к адаптивным антеннам.

Заключение. Результаты измерений показали, что антенна обеспечивает формирование провала в ДН для подавления помехи до уровня минус 32 дБ при сохранении уровня сигнала для остальной части зоны обслуживания.

Получено небольшое расхождение в результатах моделирования радиотехнических характеристик адаптивной гибридно-зеркальной антенны и результатах испытаний макета. Это объясняется неточностью моделирования антенны, при котором не учитывался реальный профиль рефлектора и ДН облучателей антенны. Также не учитывалась погрешность изготовления макета адаптивной гибридно-зеркальной антенны, которая приводит к искажению ДН антенны.

Испытания макета показали принципиальную возможность реализации адаптивной антенны с возможностью подавления помех в направлении главного и боковых лепестков ДН антенны на базе гибридно-зеркальной антенны.

Литература

1. Roederer A. 45 years of antenna r&d: highlights and some lessons learned / Antoine Roederer // Proceedings of the conference «30-th ESA Antenna Workshop on Antennas for Earth Observation, Science, Telecommunication and Navigation Space Missions», 2008 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.jampro.com/uploads/tech_docs_pdf/Workshop%20May%202008-Roederer-12apr08.pdf, свободный (дата обращения: 16.09.2013).

2. Першин А.С. Многолучевые антенны с кластерной схемой / А.С. Першин, Ю.И. Сошенко // Решетневские чтения: матер. XV Междунар. науч. конф., посвящ. памяти генер. конструктора ракет.-космич. систем акад. М.Ф. Решетнева (10–12 нояб. 2011, г. Красноярск): в 2 ч. / под общ. ред. Ю.Ю. Логинова; Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. – Красноярск, 2011. – Ч. 1. – С. 34–35.

Першин Александр Сергеевич

Аспирант каф. радиотехники Сибирского федерального университета, Красноярск

Тел.: 8-913-811-99-78

Эл. почта: pershin@iss-reshetnev.ru

Pershin A.S.

The spatial noise filtering

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 lateral lobe, and in the main lobe.

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