

## РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА НАВЕДЕНИЯ АНТЕННЫХ СИСТЕМ

к.т.н. С.В. Козелков, Н.П. Руденко, В.Ф. Столбов, С.А. Тыщук  
(представил д.т.н., проф. Л.Ф. Купченко)

Предложен алгоритм, позволяющий решить задачу повышения точности наведения антенных систем наземных космических радиотехнических комплексов.

Общей оценкой качества работы любой системы наведения антеннами (СНА) служит показатель точности их наведения. Для каждой космической системы этот показатель имеет свое количественное выражение [1, 2].

При работе в сантиметровом и миллиметровом диапазонах волн ширина диаграммы направленности (ШДН) антенны составляет доли угловых минут [1, 2]. При этом уменьшение уровня принимаемых сигналов будет зависеть от следующих факторов [2]:

- величины смещения рабочей точки от максимума диаграммы направленности антенны (ДНА), т.е. от суммарной динамической ошибки наведения антенны в картинной плоскости, которую имеет система наведения;
- величины отклонения оси ДНА и уменьшения усиления антенны в результате деформации зеркальной системы.

Как известно [1, 2] качество работы антенных устройств радиотехнических систем (РТС) зависит от суммарной точности, с которой осуществляется наведение антенны, поэтому критерием качества работы СНА служит суммарная ошибка наведения [3]. Она является функцией времени, которая зависит от параметров СНА и характеристик управляющих и возмущающих сигналов, действующих на систему в процессе наведения на космический аппарат (КА) [3]. При этом наиболее эффективной работы СНА достигает при минимуме суммарной ошибки наведения. Системы наведения антенн предназначены для работы с сигналами, которые обычно являются детерминированными функциями времени [2, 3]. Однако случайные возмущения, которые имеют место в процессе слежения за КА, накладываются на принимаемые сигналы, поэтому выходные параметры СНА практически всегда представляют собой случайные функции времени. В таких случаях качество работы СНА целесообразно оценивать по критерию среднеквадратической ошибки (СКО) наведения, который используется для оценки работы СНА при

действию на них случайных сигналов. Это также дает возможность использовать единый критерий качества работы СНА при действии на них сигналов различных видов.

Рассмотрим распределение ошибок наведения в полосе пропускания системы наведения антенны РТС. В режиме программного управления существует большое число источников возникновения ошибок наведения [3, 4], однако далеко не все из них непосредственно связаны с функциями СНА [4]. Анализ точности наведения антенн позволяет выделить две основные ошибки, величина которых непосредственно зависит от построения и выбора параметров СНА. Одна из них обусловлена влиянием внешних возмущений на антенны в процессе слежения за КА, а другая – погрешностью преобразования полезного входного сигнала системой управления.

Приведенные на рис. 1 кривые распределения ошибок наведения в картинной плоскости (1- динамическая ошибка; 2 - ошибка от флуктуации ветровой нагрузки; 3 - ошибка от шумовой температуры; 4 - суммарная ошибка в режиме программного наведения; 5 - суммарная ошибка в режиме автосопровождения) показывают изменение суммарной ошибки наведения в зависимости от ширины пропускания СНА. Следует отметить, что полная ошибка наведения и ее отдельные составляющие уменьшаются с увеличением ширины полосы пропускания.

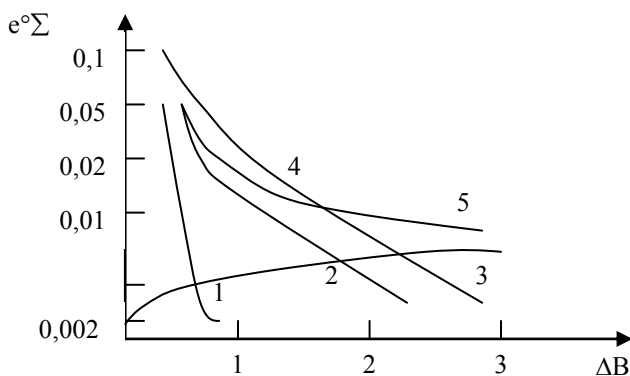


Рис. 1. Зависимость суммарной ошибки наведения от ширины полосы пропускания СНА

Одна из основных задач, которая возникает в процессе проектирования СНА, заключается в обеспечении высокой точности наведения в условиях воздействия большого количества случайных возмущений и помех. Известно, что требуемая точность наведения определяется шириной главного лепестка ДН (ШДН) антенны и зависит от соотношения диаметра раскрыва антенны и длины используемой радиоволны [2]. При

этом принято считать, что допустимая ошибка наведения обычно не должна превосходить десятых долей ширины ДН по уровню половинной мощности и определяется выражением [2]:

$$\Delta_{\text{доп}} = \frac{(0,1 \div 0,25)\theta_{0,5}}{B}, \quad (1)$$

где  $\theta_{0,5}$  - ШДН по уровню половинной мощности, равная

$$\theta_{0,5}' = \frac{4,2 \times 10^3 \lambda}{B}, \quad (2)$$

где  $4,2 \times 10^3$  - коэффициент для параболической антенны [2];  $\lambda$  - рабочая длина волны;  $B$  - диаметр зеркала.

При этом возникает противоречие из-за необходимости сочетать определенную полосу пропускания, обеспечивающую устойчивость, и требуемую переходную характеристику, в соответствии с заданными ускорениями и точностью наведения. Высокая точность наведения требует компенсации ошибок, вносимых случайными погрешностями и шумом, и следовательно, максимально возможной полосой пропускания СНА. В то же время ширина полосы пропускания ограничено условиями устойчивости, которые в основном определяются резонансными свойствами антенны.

С увеличением ширины полосы пропускания СНА одна из составляющих суммарной ошибки наведения, а именно, ошибка от внутренних и внешних шумов антенны  $P(t)$  и  $n(t)$  увеличивается, а остальные составляющие при расширении полосы уменьшаются.

Как известно [3, 4] СКО наведения от внутренних и внешних шумов антенны пропорциональна корню квадратному из величины  $\Delta B$ , а остальные составляющие суммарной ошибки наведения обратно пропорциональны величине  $\Delta B$  – ширине полосы пропускания.

С целью повышения точности наведения предлагается использовать методы режима автосопровождения, так как это позволит исключить большое количество систематических и случайных ошибок. Минимизация суммарной ошибки наведения в выражении (1) в режиме автосопровождения может быть осуществлена в пределах общего допуска на точность наведения антенны путем соответствующего распределения отдельных составляющих ошибки внутри полосы пропускания СНА и при этом для перспективных космических средств  $\Delta_{\text{доп}} < 0,005^\circ$  [3, 4]. Следовательно, оптимальная ширина полосы пропускания СНА может быть найдена из условия  $\partial [e_0^2]_{\text{max}} / \partial (\Delta B) = 0$ .

Анализ точности наведения антенных систем показывает, что повышение динамической точности СНА требует расширения полосы, а это противоречит требованию к помехоустойчивости РТС. Так как расширение полосы СНА свыше определенного значения приводит не к

увеличению, а к уменьшению точности наведения, поскольку в этом случае растут ошибки, вызванные различного рода шумами. Однако сужение полосы СНА может оказаться нецелесообразным из-за частых срывов наведения. Для удовлетворения этим противоречивым требованиям представляется целесообразным использование режима автосопровождения с переключением приемников следящей системы антенны в режиме “захвата” и “обнаружения” широкой полосой пропускания, а в режиме “сопровождения” – узкой полосой пропускания. Тогда алгоритм наведения антенн будет следующий.

На этапе “обнаружения” и “захвата” сигнала от КА работает приемник для поиска широкой ДН. В случае его обнаружения происходит подстройка широкой ДН на максимум с последующим переходом в режим “сопровождения”. Затем включается приемник для подстройки на максимум узкой ДН и входение в режим “сопровождения” узкой ДН. В случае срыва наведения, т.е. снижения уровня принимаемого сигнала ниже порогового значения, алгоритм обеспечивает повторное выполнение указанных действий.

Использование данного алгоритма позволяет решить противоречие между расширением необходимостью расширения динамического диапазона СНА и значением допустимой точностью наведения антенны.

Таким образом, для перспективных космических систем [3, 4] представляется целесообразным использовать адаптивную схему наведения антенных систем РТС, в которой используются несколько радиоприемных устройств. Следует отметить предпочтительность применения данной схемы наведения в РТС, требующих эффективное применение антенных систем, в частности, в командно-измерительных системах, при проведении траекторных измерений, при осуществлении входения в радиосвязь с КА; в случае, когда местонахождение КА не может быть точно определено вследствие его перемещения по орбите (влияние магнитных полей Земли и т.д.), при работе на радиолиниях с низкими энергетическими показателями, при наличии в радиоканале шумов и замираний.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Чернышев В.П., Шейман Д.И. Распространение радиоволн и антенно-фидерные устройства. – М.: Связь, 1973. – 408 с.
2. Покрас А.М., Цирлин В.М., Кудеяров Г.Н. Системы наведения антенн земных станций спутниковой связи. – М.: Связь, 1978. – 151 с.
3. Козырев Н.Д. Антенны космической связи. – М.: Радио и связь, 1990. – 159 с.
4. Покрас А.М. Антенные устройства зарубежных линий связи через ИСЗ. – М.: Связь, 1965. – 67 с.

*Поступила в редколлегию 16.10.2000*