

## МЕТОДИКА НАВЕДЕНИЯ АНТЕННЫХ УСТРОЙСТВ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ КОСМИЧЕСКИМИ АППАРАТАМИ ПРИ ПЕРЕХОДЕ ОБЛАСТИ ЗЕНИТА

А.П. Рачинский

(представил д.т.н. С.В. Козелков)

*В статье предложена методика, использование которой позволяет решить задачу сопровождения антенными устройствами космических аппаратов при переходе области зенита.*

**Введение.** В настоящее время спутниковые системы связи стали одним из основных видов передачи информации [1]. Интенсивное развитие данных систем направлено на повышение пропускной способности в радиоканале. Это обеспечивается на основе использования сантиметрового и миллиметрового диапазонов длин волн [1]. При этом возникает вопрос эффективного управления космическими аппаратами (КА) и, в частности, *проблема оптимального приема сигнала с КА наземной антенной радиотехнической системы*. В связи с этим возникает необходимость разработки методики наведения системы слежения антенн с использованием направленных свойств диаграмм направленности при переходе со сверхвысокочастотного (СВЧ) и крайневысокочастотный (КВЧ) диапазонов радиочастот. **Анализ литературы** [1 – 3] антенных систем (АС) показал, что в настоящее время для сопровождения КА наиболее часто применяются опорно-поворотные устройства (ОПУ) азимут-угломестного типа. Однако данные ОПУ обладают недостатком, так как в областях, примыкающих к зениту, образуется “мертвая зона”, в пределах которой невозможно обеспечить информационный обмен с КА.

**Целью статьи** является обоснование предложений по повышению точности сопровождения космического аппарата в области зенита, являющихся базой для соответствующей методики.

**Результаты исследований.** Для сопровождения КА опорно-поворотным устройством азимут-угломестного типа осуществляются повороты относительно осей  $X - Z$  [3]. При этом на начальном этапе “обнаружения” и “захвата” при вхождении в связь с КА используем приемник

для поиска широкой диаграммы направленности (ДН), используется СВЧ-диапазон. В случае обнаружения и устойчивого радиоприема сигналов с КА происходит подстройка широкой ДН на максимум с последующим переходом в режим “сопровождение”. На втором этапе включается приемник для подстройки на максимум узкой ДН (КВЧ диапазон), вхождение в режим “сопровождение” узкой ДН. В случае срыва наведения, т.е. снижения уровня принимаемого сигнала ниже порогового значения, переходим к первому этапу.

Однако, начиная с некоторого угла места  $Z_{кр}$ , угловая скорость вращения относительно азимутальной оси не обеспечивает сопровождения КА из-за особенностей конструкции ОПУ, в результате чего перемещение диаграммы направленности (ДН) антенны отстанет от КА и сеанс управления нарушится. Связь восстановится лишь тогда, когда КА, перейдя через зенит, достигнет угла места  $Z < Z_{кр}$  и требуемая угловая скорость вращения относительно азимутальной оси станет осуществимой. Для того чтобы уменьшить размеры “мертвой зоны”, которые зависят от высоты орбиты КА и максимальной угловой скорости, которую может обеспечить привод азимутальной оси, исследуем особенности наведения антенн РТС в области зенита [2, 3]. Предлагается перейти в СВЧ-диапазон [5], при этом скорость вращения АС по азимуту ограничена по модулю значением  $|dA/dt|_{max} = \omega_{Amax}$ . Склонение, при котором эта скорость достигается в кульминации, определяется выражением [2, 4]:

$$\omega_{Ak} = \omega_{Amax} = \cos \delta / \cosh = \cos \delta / \sin(\varphi - \delta), \quad (1)$$

где  $\omega_{Ak}$  – скорость антенны в кульминации;  $h$  – величина “мертвой зоны” в области зенита;  $\delta$  – склонение;  $\varphi$  – широта нахождения РТС.

Решая данное трансцендентное уравнение (1), можно найти два значения  $\delta_1$  и  $\delta_2$ , связанные равенством  $\varphi - \delta_1 = \delta_2 - \varphi$ , выделяющие область траекторий, проходящих вблизи зенита, где азимутальная скорость КА превышает соответствующую скорость вращения АС, развиваемую приводом. Ширина необслуживаемой зоны определяется из равенства  $\Delta h = \delta_1 - \delta_2$  и представлена графически на рис. 1 (для  $\varphi = 45^\circ$ ) [4]. Рассмотрим процесс прохождения области кульминации (центр – точка О в зените) для случая, когда максимальная скорость АС  $\omega_{Amax}$  меньше скорости изменения азимута КА.

Пусть в некоторой точке А (рис.2) скорость АС достигает предельного значения  $dA/dt = \omega_{Amax}$ , и дальше АС может вращаться с этой скоростью:  $A(t) = \omega_{Amax}t + A_0$ . Начиная с точки В скорость КА, продолжая

уменьшаться, становится меньше  $\omega_{A_{\max}}$ , но расхождение в азимутальной

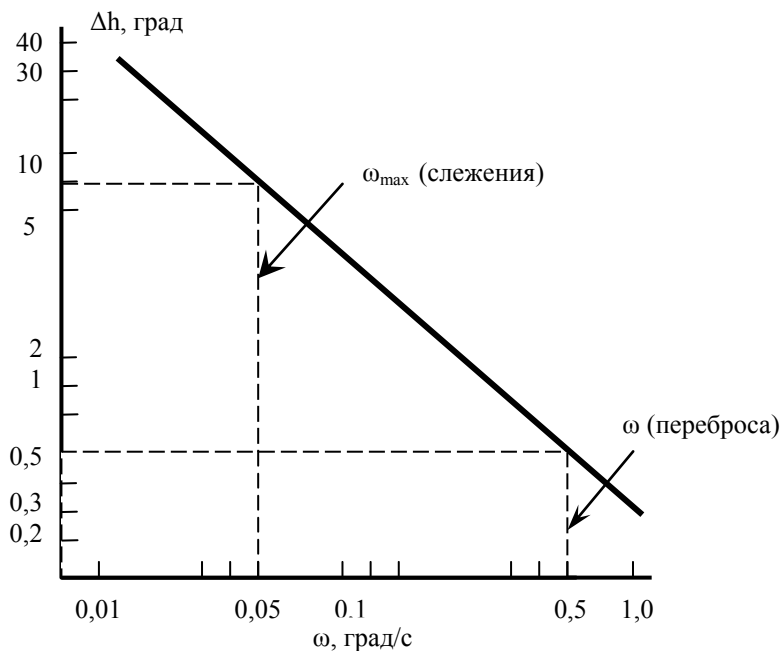


Рис. 1. Зависимость величины “мертвой зоны” в области зенита от величины возможной скорости слежения по азимуту

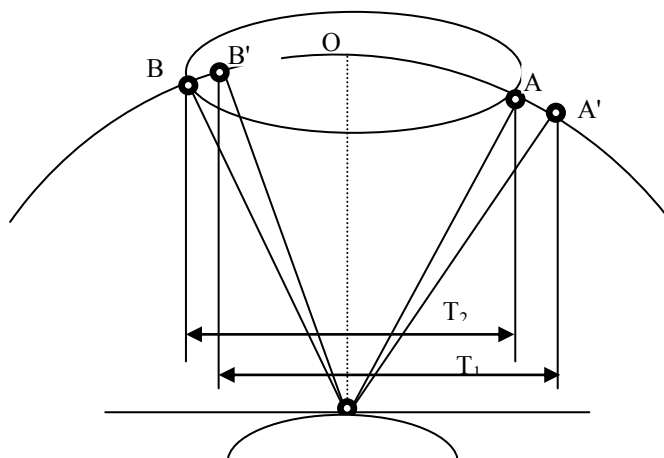


Рис. 2. Процесс перехода области зенита

координате КА и АС близко к максимальному. Лишь в точке В АС “догоняет” КА и дальнейшее сопровождение происходит без рассогласования.

При этом заметим, что время  $T_2$ , в течение которого неизбежно рассогласование, существенно больше отрезка времени, в течение которого азимутальная скорость КА превосходит по модулю  $\omega_{Amax}$ . Чтобы определить время  $T_2$ , необходимо решить следующую систему уравнений [3, 4]:

$$A(t_1) + \omega_{amax} T_2 = A(t_2); \quad t_2 - t_1 = T_2; \quad \frac{dA}{dt}(t_1) = \omega_{amax}.$$

Решение этой системы в общем случае представляет определенные трудности. Достаточно хорошую оценку времени  $T_2$  можно получить, заменив АВ на А'В'. Очевидно, что проекция А'В' на ось  $t$ , равная  $T_1$ , приблизительно равна соответствующей проекции АВ. Время  $T_1$  определяется выражением [4]:

$$\frac{\omega_{Amax} T_1}{2} = \arctg \frac{\cos \delta \sin(T_1 / 2)}{-\sin \delta \cos \varphi + \cos \delta \sin \varphi \cos(T_1 / 2)}. \quad (2)$$

Результаты численного решения (2) представлены на рис. 3, где для различных склонений  $\delta$  даны зависимости времени  $T_1$  от максимальной скорости  $\omega_{Amax}$  для фиксированной широты  $\varphi = 45^\circ$ .

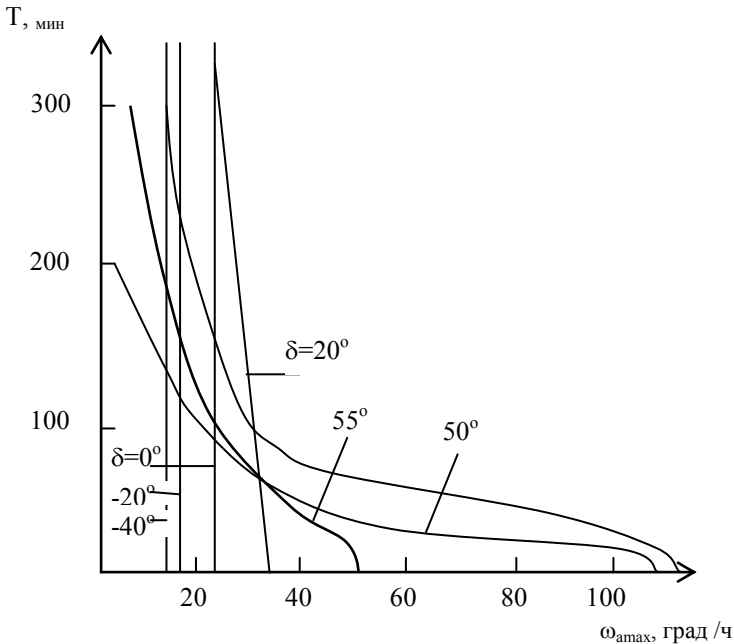


Рис. 3. Зависимость времени перерывов в связи от максимально возможной скорости по азимуту АУ с горизонтальной подвеской для различных склонений КА

Для АС, работающих в сантиметровом и миллиметровом диапазоне волн с узкой диаграммой направленности, время возможного нарушения радиосвязи может достигать  $T_2$ . С учетом конечной ширины диаграммы направленности время перерыва в связи будет несколько меньше. Это время может быть еще более уменьшено и, кроме того, обеспечена связь в зените, если АУ в районе кульминации будет двигаться по прямой А'В'. Рассогласование в этом случае меньше, а в районе кульминации точка О равно нулю.

Для осуществления стратегии необходимо в точке А' перейти на широкую ДН в СВЧ диапазон и увеличить скорость АС до максимальной, а в точке В' после подстройки на максимум широкой ДН перейти к "узкой" ДН КВЧ диапазон и снизить ее до скорости КА. При этом на участке А'О антенна "обгоняет" КА, в точке О их скорости равны, а на участке ОВ' антенна отстает от КА. Для более точного определения времени перерывов в связи необходимо учитывать не только ограничения привода по скорости, но и ограничение по ускорению, а также рассматривать пространственную задачу: одновременное движение АС по двум координатам – азимуту и углу места.

**Выводы.** Таким образом, на основании предложенной рекомендации прохождения "мертвой зоны" наведения системы слежения разработан методика перехода антенны в области зенита, что позволяет повысить требования к точности сопровождения.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Архипов Н.С., Бондарь Л.В., Витовцев А.Г., Ломан В.Н. Антенно-фидерные системы средств в космической связи диапазонов СВЧ-КВЧ // Радиоэлектроника. – 1986. – Т. 29. – № 2. – С. 4 – 15.
2. Покрас А.М. Антенны земных станций спутниковой связи // Радиотехника. – 1987. – № 5. – С. 50 – 55.
3. Справочник по антенной технике / Под ред. Я.Н. Фельда, Е.Г. Зелкина. – М.: ИПРЖР, 1997. – 256 с.
4. Дитц Р.Х. Система связи и слежения космической станции // ТИИЭР. – 1987. – Т. 75, № 3. – С.118 – 132.
5. Пат. 43120 А Україна, МПК G 01 S 1/04. Пристрій наведення: Пат. 43120 А Україна, МПК G 01 S 1/04/ Пашков Д.П., Корольова Н.А., Козелкова М.Б., Рачинський О.П (Україна); Харківський військовий університет. – № 2001021329; Заявлено 26.02.01; Опубл. 15.11.01, Бюл. № 10. – 7 с.

Поступила 11.04.2003

**РАЧИНСКИЙ Александр Петрович**, начальник сектора передачи информации отдела контроля космического пространства Центра приема научной информации Национального космического агентства Украины. В 1994 году окончил Санкт-Петербургскую

*инженерно-космическую академию. Область научных интересов – антенные устройства радиотехнических систем космического назначения.*