

УДК 621.396

С.Е. Ломоносов<sup>1</sup>, А.Л. Павловский<sup>1</sup>, С.В. Герасимов<sup>2</sup>, А.А. Подорожняк<sup>2</sup><sup>1</sup>Центр контроля космического пространства, Евпатория<sup>2</sup>Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков

## РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ НАВЕДЕНИЯ СИСТЕМ СЛЕЖЕНИЯ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ КОНТРОЛЯ КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА ПРИ ПЕРЕХОДЕ АНТЕННАМИ ОБЛАСТИ ЗЕНИТА

Одним из направлений развития системы контроля и анализа космической обстановки является совершенствование наземной инфраструктуры средств контроля космического пространства. При этом одной из задач является разработка аппаратуры и технологий повышения оперативности и точности определения параметров орбитального движения космических объектов. Поэтому в настоящей статье исследуется актуальный вопрос повышения качества наведения антенн радиотехнических систем наземного автоматизированного комплекса управления космическими аппаратами при переходе антеннами области зенита.

**Ключевые слова:** радиотехнические средства, диаграмма наведения антенных систем, область зенита.

### Введение

Особенностью малопунктной системы контроля и анализа космической обстановки (СКАКО) является необходимость решения задач определения параметров движения космических аппаратов (КА) в условиях длительных промежутков неконтролируемого полета. Это требует максимального задействования измерительных средств, что зачастую связано с необходимостью проведения сеансов измерений и в зенитных областях (т.н. «мертвых зонах»). Подобные ситуации отражаются в первую очередь на качестве приема сигналов и времени проведения сеансов связи. Решение такого класса задач требует разработки и оптимизации средств и методов наведения антенн.

**Анализ литературы** показал, что в настоящее время для сопровождения КА в большинстве антенных систем применяются опорно-поворотные устройства азимутально-угломестного типа, где вращения осуществляются относительно двух осей [1 – 3]. В ряде случаев, когда траектория полета проходит через зенитные области зон обзора радиотехнической системы (РТС), происходит прерывание сеанса связи на время «переброса» антенны. При этом задача уменьшения времени прерывания сеанса как правило решается путем увеличением мощностей приводов антенны, что сопряжено с трудностями их технической реализации [4].

**Целью статьи** является повышение качества сопровождения КА радиотехническими средствами контроля космического пространства при прохождении через область зенита. Антенны РТС наземного автоматизированного комплекса управления (НАКУ) КА, работающие в сантиметровом и миллиметровом диапазонах радиоволн, имеют узкую диаграмму направленности, ширина которых составляет сотые доли градуса [4, 5]. Соответственно,

во избежание срыва приема радиосигналов, необходимые точности сопровождения КА лучом антенны составляют тысячные доли градуса [3, 4]. Это делает задачу сопровождения КА в области зенита сложной технической задачей.

При этом целесообразно разработать подходы к повышению качества наведения антенных устройств (АУ) радиотехнических систем наземного автоматизированного комплекса управления космическими аппаратами при переходе антеннами области зенита.

### Раздел основного материала

Известно [2, 4, 5], что на начальном этапе «обнаружения» и «захвата» при вхождении в связь используется для поиска КА широкая диаграмма направленности (ДН) (СВЧ диапазон). В случае обнаружения и устойчивого радиоприема сигналов с КА осуществляется подстройка широкой ДН на максимум с последующим переходом в режим «сопровождение». На втором этапе включается приемник для подстройки на максимум узкой ДН (КВЧ диапазон) и происходит вхождение в режим «сопровождения» узкой ДН. В случае срыва наведения, т.е. снижения уровня принимаемого сигнала ниже порогового значения, переходят к первому этапу. Очевидно, что, начиная с некоторого угла места  $Z_{кр}$ , окажется невозможным обеспечить необходимую угловую скорость вращения относительно азимутальной оси, в результате чего перемещение 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 [3, 4].

Пусть скорость вращения антенного устройства (АУ) измерительного средства ККП по азимуту ограничена по модулю значением  $|dA/dt|_{\max} = \omega_{A\max}$ . Склонение, при котором эта скорость достигается в кульминации, определяется с помощью выражения [5]

$$\omega_{Ak} = \omega_{A\max} = \cos \delta / \cosh = \cos \delta / \sin(\phi - \delta). \quad (1)$$

Решая это трансцендентное уравнение, можно найти два значения  $\delta_1$  и  $\delta_2$ , связанные равенством  $\phi - \delta_1 = \delta_2 - \phi$ , выделяющие область траекторий, проходящих вблизи зенита, где азимутальная скорость КА превышает соответствующую скорость вращения АУ, развиваемую приводом АУ. Ширина необслуживаемой зоны определяется из равенства  $\Delta h = \delta_1 - \delta_2$  и представлена графически на рис. 1 (для  $\phi = 45^\circ$ ), где  $\vartheta$  ширина «мертвой зоны»,  $\chi$  угол места, а  $H$  высота орбиты КА [6].

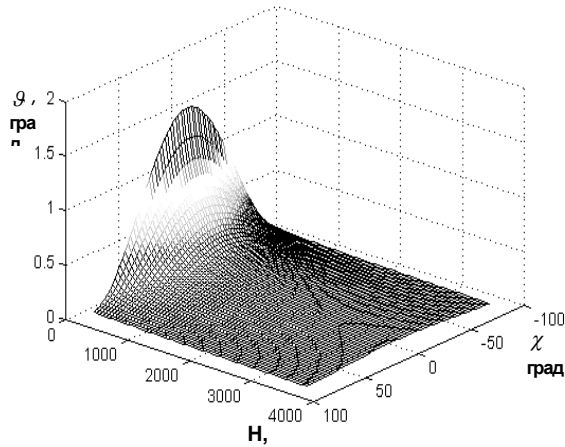


Рис. 1. Зависимость величины «мертвой зоны» области зенита от величины возможной скорости слежения по азимуту

Рассмотрим процесс прохождения области кульминации (центр – точка О в зените) для случая, когда максимальная скорость АУ  $\omega_{A\max}$  меньше скорости изменения азимута КА.

Пусть в некоторой точке А (рис. 2) скорость АУ достигает предельного значения:  $dA/dt = \omega_{A\max}$ , и дальше АУ может вращаться с этой скоростью:  $A(t) = \omega_{A\max}t + A_0$ . Начиная с точки В, скорость КА, продолжая уменьшаться, становится меньше  $\omega_{A\max}$ , но расхождение в азимутальной координате КА и АУ близко к максимальному. Лишь в точке В АУ «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  $\omega_{A\max}$ . Чтобы

определить время  $T_2$ , необходимо решить следующую систему уравнений [3]:

$$A(t_1) + \omega_{a\max}T_2 = A(t_2); \quad t_2 - t_1 = T_2; \quad \frac{dA}{dt}(t_1) = \omega_{a\max}. \quad (2)$$

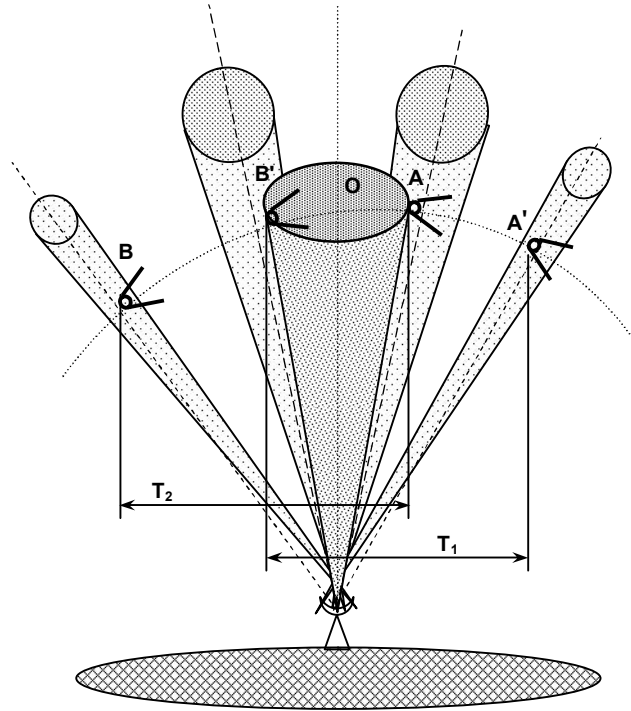


Рис. 2. Процесс перехода области зенита

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 [3]:

$$\begin{aligned} \frac{\omega_{A\max}T_1}{2} &= \\ &= \operatorname{arctg} \frac{\cos \delta \sin(T_1/2)}{-\sin \delta \cos \phi + \cos \delta \sin \phi \cos(T_1/2)}. \end{aligned} \quad (3)$$

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

Для АУ, 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.

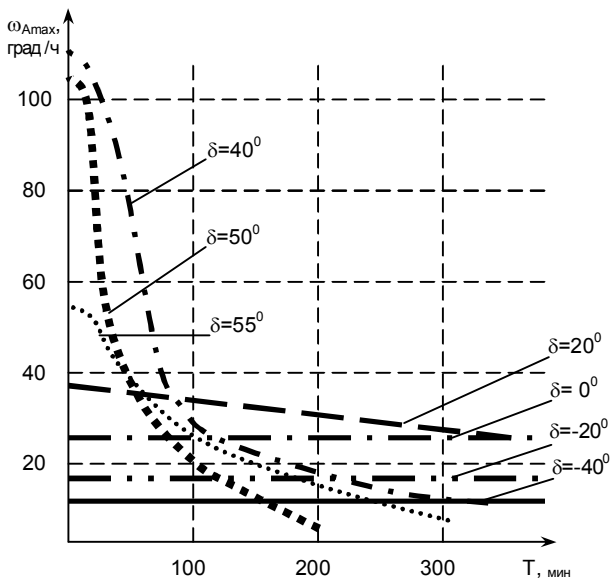


Рис. 3. Зависимость времени перерывов в связи от максимально возможной скорости по азимуту АУ с горизонтальной подвеской для различных склонений КА

Для осуществления стратегии необходимо в точке А' перейти на широкую ДН в СВЧ диапазоне и увеличить скорость АУ до максимальной, а в точке В' после подстройки на максимум широкой ДН перейти к "узкой" ДН КВЧ диапазона 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 АУ по двум координатам – азимуту и углу места.

## Выводы

Таким образом, разработанный метод наведения антенн позволяет значительно повысить качество функционирования малопунктной СКАКО при сопровождении приоритетных космических аппаратов, а также разработать адаптивный метод наведения антенн РТС НАКУ КА, удовлетворяющий требованиям по точности, как к системе управления, так и к системе контроля космического пространства.

## Список литературы

1. Поляков О.Л. Аналіз можливостей підвищення ефективності системи контролю і аналізу космічної обстановки для навігаційного забезпечення управління космічними апаратами / О.Л. Поляков, О.П. Рачинський, С.Є. Ломоносов, О.О. Морзун // Системи управління, навігації та зв'язку. – К.: ЦНДІНУ. – 2007. – Вип. 1. – С. 7-10.
2. Гусев Л.И. Наземная сеть слежения за космическими аппаратами дальнего космоса и высокоапогейными искусственными спутниками Земли / Л.И. Гусев, Е.П. Молотов // Космический бюллетень. – 1995. – Т. 2, № 1. – С. 42-54.
3. Белянский П.В. Управление наземными антеннами и радиотелескопами / П.В. Белянский, Б.Г. Сергеев. – М.: Советское радио, 1980. – 280 с.
4. Кресснер Г.Н., Михаэлис Дж.В. Введение в системы космической связи / пер с англ. под ред. М.Г. Крошкина и В.В. Маркова. – М.: Связь, 1967. – 392 с.
5. Чердынцев В.А. Радиотехнические системы / В.А. Чердынцев. – Минск.: Высшая школа, 1988. – 369 с.

Поступила в редколлегию 11.04.2009

Рецензент: д-р техн. наук, проф. С.В. Козелков, Центральный научно-исследовательский институт навигации и управления, Киев.

## РОЗРОБКА МЕТОДИКИ НАВЕДЕННЯ СИСТЕМ СТЕЖЕННЯ РАДІОТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ КОНТРОЛЮ КОСМІЧНОГО ПРОСТОРУ ПРИ ПЕРЕХОДІ АНТЕНАМИ ОБЛАСТІ ЗЕНІТУ

С.Є. Ломоносов, А.Л. Павловський, С.В. Герасимов, А.О. Подорожняк

У статті розглянутий підхід до підвищення якості наведення антенних пристроїв радіотехнічних систем наземного автоматизованого комплексу управління космічними апаратами при переході антеннами області зеніту. Запропонований підхід дозволяє розробити апаратуру і технології для наведення антен радіотехнічних систем наземного автоматизованого комплексу управління космічними апаратами, що задовольняють вимогам по точності, як до системи управління, так і до системи контролю космічного простору.

**Ключові слова:** радіотехнічні засоби, діаграма наведення антенних систем, область зеніту.

## DEVELOPMENT OF METHOD OF AIMING OF TRACKING SYSTEMS OF RADIOENGINEERING FACILITIES THE SPACE CONTROL IN TRANSITION AERIALS OF ZENITH AREA

S.E. Lomonosov, A.L. Pavlovskiy, S.V. Gerasimov, A.O. Podorozhnyak

In the article, fitting is considered to for upgrading aiming of antenna systems of the radio engineerings systems of the surface automated complex of management space vehicles in transition of area of zenith aerals. Offered approach allows to develop an apparatus and technologies for aiming of antenna systems of the radio engineerings systems of the surface automated complex of management space vehicles, suitings on exactness, both to the control system and to the space control system.

**Keywords:** radio engineerings facilities, diagram of aiming of the antenna systems, area of zenith.