

УДК 502/504(15)

В.Ф. Фролов

ВОО «Аэрокосмическое общество Украины», Киев

## К ВОПРОСУ О РЕГИСТРАЦИИ КОСМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ ИСКУССТВЕННОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

*В статье дана характеристика и дан перечень наземных радиолокационных и оптико-электронных систем слежения за космическими объектами искусственного происхождения. Предложена эмпирическая зависимость радиолокационного сечения от характеристик радара, что может быть использовано при конструировании радаров.*

**Ключевые слова:** космический мусор, радар, радиолокационное сечение, рабочая частота, эхо-сигнал.

### Введение

По мере расширения масштабов деятельности международного сообщества относительно использования космического пространства и, особенно, в связи с долговременным пребыванием космонавтов (астронавтов) на Международной космической станции, все большее внимание привлекает и становится необходимым выявление и регистрация обращающихся по околоземным орбитам объектов искусственного происхождения [1].

Изучения источников литературы [2], показало что к космическим объектам, которые находятся на околоземных орбитах относятся: Международная космическая станция и сопутствующие ее элементы, спутники различного назначения, космические аппараты для исследования и изучения космоса (как ближнего, так и дальнего включая планеты солнечной системы) и т.д. При этом, жизненный цикл этих объектов имеет определенный период и не превышает порядка десяти лет для спутников и некоторых типов космических аппаратов [2]. По окончании жизненного цикла, все эти объекты искусственного происхождения становятся космическим мусором [2]. Превращению этих объектов в космический мусор способствовало: окончание гарантированной работы бортовой аппаратуры; аварии, связанные с отказом систем управления и навигации; взрывы топливных систем и аккумуляторных батарей; преднамеренные взрывы по команде с Земли (это касается спутников военного назначения), а также других нештатных ситуаций, которые могут возникнуть в космическом пространстве [2]. Одной из таких ситуаций является столкновение космического аппарата с обломками других космических объектов или космического мусора. Хотя вероятность столкновения при современной засоренности космического пространства невелика, но она будет увеличиваться в прогрессии в связи с увеличением числа пусков

ракет-носителей [4]. Если в 2014÷2015 годах число пусков ракетносителей странами, участниками космической деятельности, достигало величины 130÷150 пусков в год, то по оценкам экспертов эта величина уже к 2020 году достигнет величины более 200 пусков в год [1].

**Цель статьи.** В связи с этим целью настоящей статьи является выработка стратегии определения и регистрации объектов искусственного происхождения наземными средствами, а также представить результаты и выводы использования современных радарных систем.

### Основная часть

Вопросам количественной оценки засоренности околоземного космического пространства космическим мусором и, связанной с ней опасностью, посвящено много работ как отечественных, так и зарубежных учёных [1 – 5]. Слежение за космическими объектами искусственного происхождения, находящихся в космосе, проводится с помощью астрономических обсерваторий, наземных и бортовых радиолокационных и оптико-электронных систем слежения.

Наземные системы слежения расположены в таких точках Земли, которые позволяют видеть объекты с высокой степенью разрешённости их характеристик (массы, формы, скорости, орбиты). Бортовые системы экспериментально устанавливаются на спутниках, находящихся на геостационарных орбитах и являются не только системами наблюдения за космическим мусором, но и системой наблюдения за астероидной опасностью по отношению к протекающим процессам вокруг Земле [3].

Особый интерес представляют такие космические объекты, которые находятся на пределе порога обнаружения современными средствами слежения за космическим пространством или ниже него. Хотя эти объекты имеют небольшой размер, тем не менее

они могут нанести сильный и достаточно опасный удар по космическому аппарату [3].

В начале 60-х годов XX-го столетия в ведущих странах мира (СССР, США) встал вопрос о необходимости регистрации и каталогизации космического мусора [4]. В настоящее время такие каталоги имеются в Росавиакосмосе и NASA.

И если каталоги NASA непрерывно обновляются и ежемесячно по подписке публикуются, то каталоги Росавиакосмоса не доступны общему пользователю.

В США главная ответственность за обнаружение и слежение за всеми космическими объектами возложена на Объединенное космическое командование США (USSPACECOM) и его сеть наблюдения за космическим пространством [3]. К ним относятся следующие центры: радар «Собга Дане» (Аляска), электронно – оптические средства AMOS/ MOTIF (Гавайи), Socorro (Нью-Мехико). Важной составляющей американских средств за контролем космического пространства является электронно-оптический комплекс зондирования глубокого космоса GEODSS. В настоящее время действует три поста этого комплекса: Сокорро в Нью-Мексико, остров Маук на Гавайях, остров Диего Гарсия. По результатам этих наблюдений постоянно ведется Каталог центра наблюдений за космической обстановкой (SSCCAT), который содержит сведения о параметрах орбит и информацию о происхождении всех объектов, находящихся в настоящее время на околоземных орбитах, обнаруживаемых современными средствами слежения.

В России также имеется сеть радиолокационных систем обнаружения. К ним относятся средства:

- РЛС «Днепр» (Иркутск);
- РЛС «Дунай ЗУ» (Подмосковье);
- РЛС «Дарьял» (Печора);
- РЛС «Волга» (Беларусь);
- РЛС «ПРО Дон – 2Н» (Ростов).

Кроме того, имеются комплексы оптико-электронного слежения: «Крона», «Окно», «Момент». Часть всех этих систем находится в ведении Командования авиационно-космических сил России, полученные данные от вышеперечисленных систем служат базой для составления каталога находящихся на орбитах космических объектов и космического мусора.

Важной обязанностью системы слежения Объединенного космического командования США является составление каталога радиолокационных сечений. Этот каталог составлен и ведется с помощью управляемого электроникой радара AN/FPS – 85 с фазированной решёткой, расположенной на базе ВВС США Эглин в штате Флорида. Каталог радиолокационных сечений представляет собой составную

часть современной системы оценки размеров орбитальных объектов и в связи с этим заслуживает более детального рассмотрения.

Радиолокационное сечение (РЛС) вычисляется на основе информации, полученной непосредственно от радара, испускаемых и принимаемых им электромагнитных полей [4]. Радиолокационное сечение зависит также от ориентации объекта относительно радара. При ориентации плоской пластины кромкой к радару мы получим гораздо меньшую величину РЛС, чем при ориентации её к радару плоскостью. В связи с этим, величина РЛС не измеряется непосредственно и зависит от используемых при её расчете характеристик радара и электромагнитных полей.

Для иллюстрации этого влияния, можно воспользоваться уравнением для моностатического радара [5]:

$$\sigma = \frac{PG^2\lambda}{(4\pi)^3 (S/N)R^4 B T k}, \quad (1)$$

где  $\sigma$  – радиолокационное сечение (РЛС);  $P$  – мощность;  $G$  – усиление антенны;  $\lambda$  – длина волны радара;  $S/N$  – соотношение «сигнал – шум»;  $R$  – расстояние до объекта;  $B$  – ширина полосы частот;  $T$  – температура потери;  $k$  – постоянная Больцмана.

Одним из наиболее важных аспектов при определении РЛС, является его зависимость от квадрата длины волны радара. Вследствие этого, различные радары дают различную величину РЛС для одного и того же объекта. На рис. 1 показана зависимость РЛС от рабочей частоты радара (которая обратно пропорциональна длине волны). Из рис. 1 следует, что радар может быть оптимизирован для измерения объекта заданного размера путем регулировки длины волны радара. Так как крупные объекты на орбитах вращаются вместе с мелкими, возможна классификация объектов по размерам, с дальнейшей их идентификацией принадлежности к конкретному элементу конструкции объекта. Именно эта теоретическая посылка может быть заложена в основу разработки создаваемых современных специализированных радаров для регистрации осколков космического мусора.

Украина активно принимает участие в исследовании космического пространства и контроля за «космическим мусором» радиотехническими средствами. До 2014 года Украина использовала для этого приёмно-передающую антенну РТ-70 (Евпатория) с диаметром зеркала 70 метров и излучаемой мощностью 100 квт. В 2005 году был проведён уникальный эксперимент с использованием ряда приёмных антенн Украины (Симеиз), Европы (Ното, Италия), России (Медвежьи озера) и Китая (Урумчи). Была отработана процедура прецизионных измерений сдвига Доплера методом кросс-корреляции переданного (зондирующего сигнала) и принятых от

различных антенн отраженных эхо-сигналов. Были получены ряды измерений радиальной скорости для нескольких десятков геостационарных и высокоэллиптических спутников с чрезвычайно высокой точностью – до единиц мм/сек (что в 10 раз увеличивает точность орбитальных определений по сравнению

с оптическими данными). Также была отработана методика определения периода вращения по записи интенсивности эхо-сигнала и по анализу изменений максимума корреляционной функции, а также оценки размеров космических объектов посредством Фурье – анализа интенсивности эхо – сигналов.

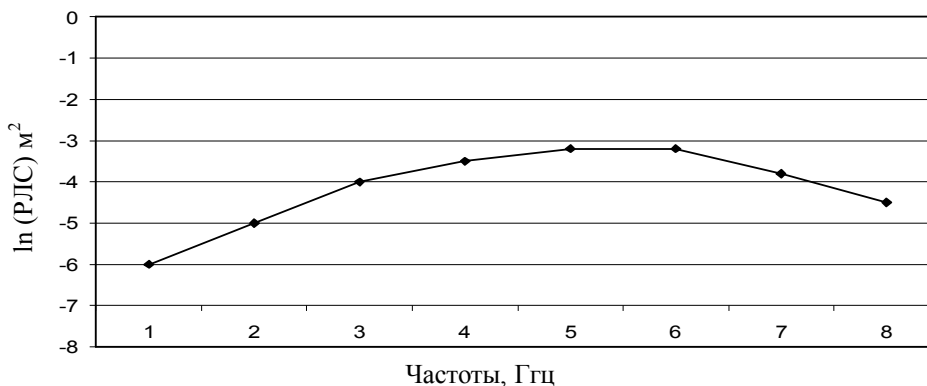


Рис. 1. Залежність РЛС об'єкта від частоти випромінювання для сфери діаметром 1 см

Таким образом, удалось практически доказать возможность обнаружения малоразмерных геостационарных фрагментов космического мусора с использованием передатчика РТ-70. При этом, увеличение излучаемой мощности до максимального значения 100 кВт, становится возможным исследовать фрагменты мусора на геостационарной орбите размером до 5 см.

## Выводы

Только кооперация и совместная интеграция стран – участников космического клуба в поиске и обнаружении фрагментов космического мусора, с использованием существующих наземных и бортовых систем контроля, позволит решить важную общечеловеческую проблему – очистку околоземного космического пространства от космического мусора [2]. К сожалению, некоторые политики руководствуются другими принципами и законами общечеловеческого общежития и действуют по принципу: «думаю глобально – решаю локально». Все это приведет к непоправимым последствиям в экологической безопасности космического пространства и как следствие – невозможностью безопасно проводить космические исследования.

## Список литературы

1. Жигун Л.Н. Об экологической опасности космической деятельности / Л.Н. Жигун, В.Ф. Фролов // Научково-виробничий журнал «Арсенал XXI століття». – 2002. – № 1. – С. 63-66.
2. Машков О.А. Основные направления деятельности стран, участников космической деятельности, по исключению засорения околоземного космического пространства / О.А. Машков, В.Ф. Фролов // IV Междунар. конф. «Космические технологии: настоящее и будущее» (17 – 19 апреля 2013 г.). – Дн-ск: ГКБ «Южное». – С. 41.
3. Кесслер Д.Дж. Прогноз засорения космического пространства / Д.Дж. Кесслер // Аэрокосмическая техника. – 1985. – № 1. – С. 145-147.
4. Власов М.Н. Экологическая опасность космической деятельности. Серия: Уроки XX века. – М.Н. Власов, С.В. Кричевский. – М: Наука, 1999, – 238 с.
5. Техногенное засорение околоземного космического пространства / А.П. Алпатов, В.П. Басс, С.А. Баулин, В.И. Бразинский, В.П. Гусынин [и др.]. – Днепропетровск: Отраслевое пособие, «Пороги», 2012. – 378 с.

Поступила в редколлегию 24.02.2016

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Д.П. Пашков, Государственная экологическая академия, Киев.

## ДО ПИТАННЯ ПРО РЕЄСТРАЦІЮ КОСМІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ ШТУЧНОГО ПОХОДЖЕННЯ

В.Ф. Фролов

У статті дана характеристика і дано перелік наземних радіолокаційних та оптико-електронних систем спостереження за космічними об'єктами штучного походження. Запропонована емпірична залежність радіолокаційного перерізу від характеристик радару, що може бути використана при конструюванні радарів.

**Ключові слова:** космічне сміття, радар, радіолокаційний переріз, робоча частота, луна-сигнал.

## METHODS FOR DETERMINING CERTAIN PARAMETERS OF SPACE DEBRIS

V.F. Frolov

The article presents the characteristics and gives a list of ground-based radar and optoelectronic systems for tracking space objects of artificial origin. Also the article proposes an empirical dependence of radar cross-section on the characteristics of radar that can be used in the design of the radar.

**Keywords:** space debris, radar, radar cross-section, operating frequency, actual frequency, return signal; echo.