



Генеральная Ассамблея

Distr.
LIMITED

A/AC.105/C.1/L.214*
26 February 1997

RUSSIAN
Original: ENGLISH

КОМИТЕТ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ КОСМИЧЕСКОГО
ПРОСТРАНСТВА В МИРНЫХ ЦЕЛЯХ

Научно-технический подкомитет
Тридцать четвертая сессия
Вена, 17-28 февраля 1997 года

**ПЕРЕСМОТРЕННЫЙ ТЕКСТ ТЕХНИЧЕСКОГО ДОКЛАДА
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ПОДКОМИТЕТА О КОСМИЧЕСКОМ МУСОРЕ****

(Изменения выделены **жирным шрифтом**)

1. Методы измерения космического мусора

1.1 Наземные измерения

1.1.1 Измерения с помощью РЛС

1. С помощью наземных РЛС вполне можно вести наблюдение за космическими объектами при любых погодных условиях и в любое время суток. Однако сдерживающими факторами использования РЛС для обнаружения мелких объектов на больших расстояниях являются **большие расходы на электроэнергию и используемый диапазон РЛС**.

2. Для измерения космических объектов используются в основном два типа РЛС:

а) РЛС с механическим управлением направленности луча и параболическими антеннами. Такие РЛС могут обнаруживать и измерять лишь объекты, находящиеся исключительно в секторе обзора РЛС, определяемой механической направленностью параболической антенны.

б) РЛС с электронным управлением направленностью луча и фазированными антенными решетками. Такие РЛС могут одновременно обнаруживать и измерять сотни объектов по различным направлениям.

** Настоящий доклад не редактировался.

** Первоначальный технический доклад Научно-технического подкомитета о космическом мусоре содержится в документе A/AC.105/637, пункты 94-137.

3. РЛС первого типа используются в основном для слежения, второго типа - **как для слежения, так и** для поиска.

4. Для наблюдения за космическим мусором применимы следующие режимы работы РЛС: слежения; фиксации луча; смешанный; и бистатичный.

5. В режиме слежения РЛС сопровождает объект в течение нескольких минут, что позволяет получить данные об угловом направлении, дальности, радиальной скорости, амплитуде и фазе радиолокационных отраженных сигналов. На основе оценки направления, скорости и дальности как функции времени могут быть определены элементы орбиты.

6. В режиме работы с фиксацией луча антенна фиксируется в заданном направлении и регистрируются эхо-сигналы от объектов, пересекающих сектор обзора. Это позволяет получить статистическую информацию о количестве и размерах обнаруженных объектов, однако данные об их орбите являются менее точными.

7. В смешанном режиме РЛС сначала работает в режиме с фиксацией луча, а после того, как объект пересекает луч, переходит на режим слежения, что позволяет получить более точные данные об орбите. После того как соответствующие данные получены, РЛС может вернуться к работе в режиме с фиксацией луча.

8. В бистатическом режиме в дополнение к излучающей антенне используется автономная принимающая антенна. Это позволяет повысить чувствительность бистатической антенны, что дает возможность обнаруживать менее крупные объекты.

9. С помощью радиолокационных измерений могут быть определены в основном следующие параметры космических объектов **для всех упоминаемых ниже параметров характерна некоторая степень неопределенности:**

- a) элементы орбиты, определяющие движение центра массы объекта вокруг Земли;
- b) изменения пространственного положения, определяющие движение объектов вокруг своих центров массы;
- c) размер и форма объектов;
- d) срок нахождения на орбите;
- e) баллистический коэффициент, как он определен в пункте 127(f), уточняющий скорость, на которой происходит вырождение большой полуоси орбиты;
- f) масса объекта; и
- g) физические свойства.

10. Полученные данные измерений могут быть занесены в каталог космических объектов, в котором также может быть приведена статистическая информация о количестве обнаруженных объектов конкретного размера в конкретном районе в конкретное время.

11. Современные РЛС способны обнаруживать объекты размером более 1 см на расстоянии до 1 000 км или объекты размером 1 м на геостационарных орбитах (ГСО). Для обнаружения менее крупных объектов **можно использовать** бистатический режим. Этот метод позволяет засекать объекты размером 2 мм на расстоянии 500 км. На таких расстояниях различимы объекты с высокой отражающей способностью, например металлы. Что касается других материалов, например композитных, то они **могут отражать** радиолокационные сигналы слабее.

12. Соединенные Штаты при помощи РЛС "Хейстек" и "Голдстоун", **некоторых российских РЛС** и Германия при помощи РЛС ФГАН и **Эффелсбергского радиотелескопа** проводили радиолокационные измерения в целях получения статистических данных о популяции орбитального мусора размером **менее 30 см** (номинальный предел по каталогам Соединенных Штатов и Российской Федерации). С помощью РЛС "Хейстек" и "Голдстоун" удалось получить статистическую информацию о находящихся на низкой околоземной орбите (НОО) частицах мусора размером от 0,5 см (и некоторые данные об объектах размером от 0,2 см). С помощью РЛС ФГАН столь мелкие объекты не измерялись, однако полученные результаты в целом соответствуют результатам НАСА. Результаты этих **и других** измерений свидетельствуют о том, что засоренность космическим мусором превышает естественную метеоритную засоренность по объектам всех размеров крупнее приблизительно 0,01 см в диаметре.

13. РЛС Киотского университета в Японии позволяет наблюдать в средних и верхних слоях атмосферы в створе луча РЛС перемещение неизвестных объектов в течение 20 секунд. Система бистатичной РЛС Института космонавтики и астрономии (ИСАС) в Японии способна обнаруживать объекты размером всего лишь 2 см на высоте до 500 километров.

1.1.2 Оптические измерения

14. Оптическим путем мусор может быть обнаружен по отраженному солнечному свету, когда объект освещается солнцем, а у земной поверхности темно. Для объектов на низкой околоземной орбите (НОО) период возможного обнаружения ограничен одним-двумя часами сразу после захода или до восхода солнца. В то же время наблюдения объектов на высокой околоземной орбите (ВОО), например на геосинхронной орбите, часто могут продолжаться в течение всего ночного времени суток. Еще одна трудность, ограничивающая возможности проведения оптических измерений, состоит в том, что небо должно быть ясным и темным. Преимущество оптических измерений по сравнению с измерениями радиолокационными состоит в том, что интенсивность отраженного пучка солнечного света представляет собой лишь величину, обратно пропорциональную квадрату расстояния или высоты, в то время как сила отраженного радиолокационного сигнала обратно пропорциональна расстоянию в четвертой степени. В результате даже небольшой телескоп может превзойти большинство РЛС в том, что касается обнаружения мусора на больших высотах. Некоторые измерения небольших частиц мусора на НОО были произведены с помощью оптических телескопов, однако в целом РЛС позволяют получить более точные данные при измерении объектов на НОО.

15. Космическое командование Соединенных Штатов применяет телескопы с апертурой 1 м, на которых установлены усовершенствованные видеиконовые детекторы для слежения за объектами на ВОО. Данные измерений регистрируются в каталоге Космического командования в разделе, посвященном объектам на ВОО. Технические возможности этих телескопов ограничиваются возможностями по обнаружению объектов размером в 1 м на геосинхронных высотах, что соответствует объектам 16-й звездной величины. На этих телескопах планируется установить детекторы на элементах с зарядовой связью (ЭЗС), что позволит улучшить их КПД. Российское космическое агентство использует аналогичный телескоп для ведения своего каталога орбит объектов, находящихся на ВОО.

16. Как правило, в каталогах ГСО Космического командования США и в российских каталогах ГСО регистрируются не пострадавшие космические аппараты и корпуса ракет. Однако есть основания полагать, что в районе ГСО имеются также небольшие обломки, образовавшиеся в результате взрывов. В 1978 году наблюдался взрыв российского спутника "Экран" на ГСО. На высоких эллиптических орбитах с наклоном 7° **наблюдается** множество незарегистрированных объектов, которые образовались, возможно, в результате разрушения промежуточной ступени ракеты-носителя "Ариан". В феврале 1992 года с помощью телескопа Космического командования США в Мауи на Гавайских островах было случайно обнаружено разрушение промежуточной ступени ракеты "Титан-4" (1968-081E). Недавно, в феврале 1994 года, промежуточная ступень ракеты "Титан-2" (1967-066G) резко сошла с орбиты, что свидетельствует о том, что произошел ее взрыв. В районе ГСО находятся и ступени других ракет, которые еще могут взорваться. Некоторые из этих ступеней, по-видимому, потеряны и, возможно, взорвались.

17. Для обследования района ГСО на предмет обнаружения мелкого орбитального мусора, который, как предполагается, там присутствует, приборы должны обладать высокой чувствительностью и иметь широкий сектор обзора, что труднодостижимо. Для обнаружения в районе геосинхронной высоты обломков размером менее одного метра приборы должны обладать способностью обнаруживать объекты как минимум 17-й звездной величины, а для обеспечения быстрого обследования обширных районов необходим как можно более широкий сектор обзора. Большинство астрономических телескопов, обладающих достаточной чувствительностью, имеет небольшой сектор обзора. Это хорошо для точного определения местонахождения спутника (после того, как станут известны данные о его приблизительном местонахождении), однако этого недостаточно для обследования обширных участков небесной сферы.

18. Были проведены некоторые предварительные измерения для обследования района ГСО в целях обнаружения объектов космического мусора размером менее 1 метра. НАСА использовало небольшой телескоп, способный обнаруживать даже предметы до 17.1 звездной величины (что эквивалентно приблизительно 0,6 метра по диаметру на высоте геосинхронной высоты), сектор обзора которого составляет приблизительно 1,5 градуса. Полученные результаты свидетельствуют о том, что в районе этих высот имеется значительная засоренность космическим мусором. Проведение дальнейших измерений является оправданным. **В настоящее время в рамках МККМ обсуждаются планы проведения исследовательской кампании по проблемам орбитального мусора на ГСО.**

19. Существующие и проектируемые оптические характеристики приборов наблюдения за космическим мусором приводятся в таблице ниже:

Таблица 1. Оптические средства наблюдения за космическим мусором
(будет дополнена)

Государство/ Организация	Организация	Апертура телескопа (в метрах)	Сектор обзора (в градусах)	Тип детектора	Предельные размеры объекта	Состояние системы
Япония	СУНДАИ	0,75	0,04	ПЗС	17,0	действующая
Япония	КРЛ	1,5	0,28	ПЗС		действующая
ЕКА	ЕКА	1,0	1,0	ПЗС	19,0	разрабатывается
Российская Федерация	РАН	1,0		ПЗС	20,0	действующая
Российская Федерация	РКА	0,6	0,2	ТВ		действующая
Швейцария	Бернский университет	1,0		ПЗС		разрабатывается
США	НАСА	0,3	1,5	ПЗС	17,1	действующая
США	НАСА	3,0	0,3	ПЗС	21,5	действующая
Соединенное Королевство	Королевская гринвическая обсерватория	0,2	0,25	ПЗС		действующая

1.2. Измерения в космосе

1.2.1 Возвращаемые части поверхностей и датчики соударений

20. Информацию о частицах размером менее миллиметра можно получить путем анализа участков поверхностей или космических аппаратов, подвергшихся воздействию космической среды, после их возвращения на Землю. Аналогичную информацию можно получить также с помощью специальных

датчиков потока мусора и пыли. Одним из важнейших элементов **многих** этих устройств является поверхность обнаружения. Некоторые из этих устройств могут осуществлять захват соударяющейся частицы для дальнейшего ее анализа. По соображениям экономии средств обломки поверхностей доставляются на Землю для последующего анализа только с низких околоземных орбит.

Примеры доставленных на Землю обломков КА и поверхностей даются в таблице 2 ниже.

Таблица 2. Примеры доставленных на Землю обломков космических аппаратов и поверхностей
(будет дополнена)

Название аппарата	Орбита	Нахождение на орбите	Стабилизация	Площадь открытой космосу поверхности
LDEF (НАСА)	340-470 км 28,5°	4/84-1/90	гравитационный градиент	151 м ²
ЭВРИКА (ЕКА)	520 км 28,5°	9/92-6/93	по Солнцу	35 (КА) + 96 (СБ)
Панель солнечных батарей КТХ (ЕКА/НАСА)	610 км 28,5°	5/90-12/93	по Солнцу	62 м ²
МИР/ЕВРОМИР-95 (РКА/ЕКА)	390 км 51,6°	10/95-2/96	гравитационный градиент	кассета 20 x 30 см
КЛА (Япония)	300-500 км 28,5°	3/95-1/96	по Солнцу	20 м ² (в том числе панели солнечных батарей)
"Спейс шаттл" (НАСА)	300- 600 км 28,5°- 51,6 °	с 1992 года по настоящее время	комплексная	100 м ²

21. Подвергшиеся воздействию космической среды поверхности космических аппаратов несут на себе следы большого числа столкновений с метеорными телами и частицами космического мусора. Размеры вмятин и пробоин колеблются от тысячных долей миллиметра до нескольких миллиметров. Одна из основных проблем заключается в том, чтобы определить, какие из следов оставлены метеорными телами и какие - антропогенными частицами космического мусора. Одним из проверенных способов определения происхождения частиц является химический анализ. Однако использование этого метода сопряжено с некоторыми трудностями - из-за высоких скоростей соударения очень малые количества материала сохраняют свой первоначальный состав. Материал частиц испаряется и затем конденсируется на окружающих поверхностях. Во многих случаях не удается точно установить происхождение соударяющейся частицы (вследствие отсутствия остаточного материала или неопределенности результатов химического анализа). В целях установления взаимосвязи между размером вмятины или отверстия и размером частицы проводились наземные калибровочные испытания (испытания на удар при гиперзвуковых скоростях) с различными материалами.

22. Исходя из статистических данных о столкновениях и результатов экспериментов по калибровке можно считать, что плотность потока метеоритных частиц и космического мусора зависит, в частности, от размеров частиц. Одним из важных вопросов, требующих изучения, является вопрос о вторичных соударениях. Без должного учета этих соударений полученные величины плотности потока будут завышенными.

23. В ходе изучения последствий длительного воздействия космической среды на находящиеся в ней объекты (LDEF) было изучено более 30 000 вмятин, видимых невооруженным глазом, из которых 5 000 вмятин превышали 0,5 мм в диаметре. Самая большая вмятина диаметром 5 мм, вероятно, образовалась в результате удара частицы размером 1 миллиметр. Результаты указанного исследования указывают на то, что некоторые соударения происходили с большой частотой по времени, что

свидетельствует о наличии на эллиптических орбитах скоплений частиц мусора размером менее 1 миллиметра.

24. Самая крупная вмятина на "Эврике" имела диаметр 6,4 мм. Из возвращенных на Землю обломков на самой высокой орбите находилась панель солнечных батарей космического телескопа "Хаббла" (КТХ). Интересно, что, как было установлено, поток частиц, попадавших на КТХ, был значительно плотнее (в 2-8 раз), чем на "Эврику", о чем свидетельствуют вмятины размером более 200-300 микрон.

25. Космический летательный аппарат (КЛА), запущенный в марте 1995 года, был возвращен в январе 1996 года на Землю с помощью космического корабля "Шаттл". **В настоящее время проводится** послеполетный анализ (ППА).

26. Рассмотренные выше случаи позволяют судить о воздействии среды частиц на орбитальные КА. Во всех этих случаях не наблюдалось какого-либо снижения функциональных характеристик КА. Информация о воздействии частиц размерами менее 1 мм получена лишь по высотам до 600 км. Отсутствует, в частности, информация по участкам НОО с наиболее высокой плотностью космического мусора (на высотах примерно от 800 до 1 000 км), а также по геостационарной орбите. **В 1996 году датчик потока мусора и пыли ЕКА был размещен на геостационарной орбите при помощи российского КА "Экспресс-2".**

1.2.2 Измерения мусора из космоса

27. Преимуществом измерений из космоса является, как правило, более высокая разрешающая сила ввиду меньшего расстояния между обсерваторией и объектом наблюдения. Кроме того, не ощущается возмущающего воздействия атмосферы (ослабление или поглощение электромагнитных сигналов). Несомненно, стоимость космических систем, как правило, выше стоимости систем наземного базирования, и поэтому необходимо тщательно взвешивать соотношение между затратами и выгодами.

28. Астрономический спутник IRAS для измерения ИК излучения в диапазоне от 8 до 120 мкм, выведенный на орбиту в 1983 году, функционировал в течение 10 месяцев на гелиосинхронной орбите на высоте около 900 км. Спутник был ориентирован радиально в направлении от Земли и осуществлял сканирование небесной сферы. Полный набор необработанных данных IRAS был проанализирован в Организации космических исследований Нидерландов (ОКИН), Гронинген, на предмет определения характеристик инфракрасного излучения объектов мусора и для выделения комплексных параметров визирования мусора. Метод определения характерных признаков космического мусора основан на отслеживании мусора, проходящего над фокальной плоскостью IRAS. В базе данных хранится около 200 000 результатов визирования потенциальных объектов мусора. Считается, что около 10 000 таких результатов относится к реальным объектам. Результаты визирования частиц мусора не позволяют рассчитывать параметры орбит таких объектов на какой-либо единой основе.

29. **В 1996 году Соединенные Штаты осуществили запуск КА MSX на орбиту на высоте 900 км. Установленные на нем камеры и ИК приемники используются для наблюдения мелких частиц мусора в прилегающем пространстве.**

1.3 Создание каталогов и баз данных

30. Каталог представляет собой запись полученных с помощью измерений или отслеживания параметров засоренности орбит. Цель каталога - определить степень корреляции с данными наблюдений орбитальных объектов; обеспечить регистрацию динамических параметров орбитальных процессов для целей мониторинга окружающей среды; служить источником исходных данных для моделирования характеристик орбитальных объектов и обеспечивать основу для прогнозирования предстоящих запусков и оперативной деятельности.

31. **Могут быть зарегистрированы** следующие характеристики орбитальных объектов:

а) масса - стартовая масса, исходная орбитальная масса и сухая масса (по окончании срока эксплуатации);

b) эффективная площадь отражения - характерные радиолокационные признаки орбитального объекта, по которым можно определить форму, ориентацию и размеры;

c) альbedo - коэффициент диффузного отражения объекта, который характеризует оптическую видимость объекта;

d) размеры;

e) ориентация;

f) баллистический коэффициент - показатель аэродинамических характеристик и геометрической формы объекта, от которых зависит срок существования объекта на орбите до момента его вхождения в верхние слои атмосферы;

g) конструкционный материал - хотя в настоящее время не имеет особого значения, для эффективного анализа вихревого следа микрочастиц мусора необходимо будет определять характеристики поверхности;

h) векторы положения - параметры орбиты объекта, получаемые в определенный момент времени;

i) пусковые характеристики - в частности, ракета-носитель, сроки запуска и стартовый комплекс.

32. В настоящее время существуют два каталога космических объектов, которые часто обновляются на основе результатов наблюдений: каталог Космического командования Соединенных Штатов и Каталог космических объектов Российской Федерации. Данные хранятся также в базе данных DISCOS ЕКА.

33. В настоящее время НАСДА изучает **вопрос о создании** базы данных по космическому мусору, **из которой можно было бы** предоставлять данные в **общую** международную базу данных по космическому мусору, которая **в настоящее время** обсуждается в **рамках** МККМ. **НАСДА изучает также** вопрос о прогнозировании **траектории** объектов мусора, **входящих в атмосферу**, и о проведении анализа для избежания столкновений при новых запусках.

34. В настоящее время в качестве **источника для своей** базы данных по космическому мусору НАСДА использует данные о параметрах орбит Космического командования Соединенных Штатов. В будущем НАСДА будет дополнять эти данные данными о параметрах орбит **своих собственных КА**, получаемыми в ходе **наблюдений, проводимых Национальной астрономической обсерваторией**.

35. Записи в каталоге могут храниться с помощью целого ряда носителей памяти. Формат печатной (бумажной) копии не совсем пригоден для того, чтобы отразить динамику орбитальных объектов. Электронный формат лучше всего подходит для записи такой информации; изменения или обновления характеристик, работы с данными в целях сопоставления и создания вводимых элементов при моделировании, а также для обеспечения глобального доступа через сети пользователям во всем мире в целях проведения опроса и учета их вклада.

1.4 Воздействие среды космического мусора на функционирование космических систем

36. Степень воздействия среды космического мусора на функционирование космических систем определяется четырьмя факторами. Этими факторами являются время нахождения на орбите, предполагаемый район, высота орбиты и наклонение плоскости орбиты. Доминирующими являются такие факторы, как время нахождения на орбите, предполагаемый район и высота орбиты.

1.4.1 Воздействие крупных объектов космического мусора на функционирование космических систем

37. К крупным объектам космического мусора, как правило, относят объекты размером свыше 10 см. Такие объекты поддаются отслеживанию при сохранении параметров орбиты. В ходе полетов МТКК "Шаттл" орбитальные ЛА выполняли маневры во избежание столкновения, с тем чтобы исключить катастрофические столкновения с такими крупными объектами космического мусора. **В 1996 году было зарегистрировано первое столкновение между двумя включенными в каталог объектами: действующим спутником "Цериз" и обломком взорвавшейся верхней ступени РН "Ариан".**

1.4.2 Воздействие небольших объектов космического мусора на функционирование космических систем

38. В настоящее время небольшие объекты космического мусора (как правило, имеющие лишь несколько миллиметров в диаметре) причиняют повреждения действующим космическим системам. **Подобные удары, насколько известно, не оказали воздействия на результаты полетов.** Такие повреждения можно разделить на две категории. В первую категорию входят повреждения поверхности или подсистем. Во вторую категорию входит воздействие на эксплуатацию.

1.4.2.1 Повреждения поверхности или подсистем

39. Примерами повреждений, причиняемых поверхности действующих систем, являются следующие:

- a) повреждение иллюминаторов МТКК "Шаттл";
- b) повреждение остронаправленной антенны космического телескопа "Хаббла" (КТХ);
- c) разрыв кабеля небольшой системы развертывания одноразового использования-2 (SEDS-2);
- d) повреждение поверхностей других внешних систем МТКК "Шаттл".

В случаях (a), (b) и (d) имеются четкие указания на то, что повреждения причиняются частицами орбитального мусора. В случае (c) неясно, произошло ли повреждение в результате столкновения с искусственными частицами мусора или с микрометеорами.

1.4.2.2 Воздействие космического мусора на функционирование КЛА

40. Для обеспечения защиты экипажа от космического мусора во время полета были приняты эксплуатационные процедуры. В случае МТКК "Шаттл" орбитальный ЛА во время полета ориентируется таким образом, чтобы его хвостовая часть указывала в направлении вектора скорости. Такая полетная ориентация была принята в целях защиты экипажа и систем жизнеобеспечения орбитального ЛА от повреждений, причиняемых в результате столкновений с небольшими объектами космического мусора.

41. Эксплуатационные ограничения были приняты и в отношении работы в открытом космосе. Когда это возможно, работа в открытом космосе осуществляется таким образом, чтобы занятые ею члены экипажа были защищены от космического мусора корпусом орбитального ЛА.

1.5 Другие виды воздействия космического мусора

42. При получении широкоформатных изображений астрономы отмечают увеличение количества следов от орбитального мусора. Такие следы снижают качество наблюдений. В случае пересечения частицами мусора узкого фотометрического поля следы от орбитального мусора могут быть полностью обесценить результаты фотометрических наблюдений.