



Генеральная Ассамблея

Distr.
LIMITED
A/AC.105/C.1/L.217
12 January 1998
RUSSIAN
Original: ENGLISH

**КОМИТЕТ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ КОСМИЧЕСКОГО
ПРОСТРАНСТВА В МИРНЫХ ЦЕЛЯХ**

Научно-технический подкомитет
Тридцать пятая сессия
Вена, 9-20 февраля 1998 года
Пункт 9 повестки дня

КОСМИЧЕСКИЙ МУСОР

Рабочий документ, представленный Международной академией астронавтики

ВВЕДЕНИЕ

1. Всего лишь за несколько десятилетий космическое пространство превратилось в важный объект научных исследований и коммерческого использования, а также общественного интереса. Однако деятельность в космосе становится все более опасной из-за бесконтрольного появления техногенного космического мусора. В настоящее время на околоземных орбитах находится более 8 600 каталогизированных объектов, из которых лишь около 500 из них можно рассматривать как действующие космические летательные аппараты. Приблизительно еще за 1 000 объектами ведется наблюдение, но они не закаталогизированы. Статистический анализ космической среды позволяет утверждать, что на орбите находится значительно большее количество объектов, размеры которых составляют от 1 см и более. Столкновение любого из этих объектов с действующим космическим летательным аппаратом может повредить его или даже вывести из строя, поскольку эти объекты обладают огромным запасом кинетической энергии. Каталогизация мусора является важным параметром прогнозирования состояния орбитальной среды на будущее. Кривые на диаграмме I показывают рост количества фрагментов отслеживаемого орбитального мусора за период с 1960 года по настоящее время. Основным источником каталогизированных объектов (42 процента) является фрагментация спутников и последних ступеней ракет (от взрыва), поэтому существенно сократить количество таких объектов можно будет за счет сведения к минимуму количества взрывов.

Диаграмма I. Рост количества каталогизированных объектов. Рост каталогизированных объектов на околоземной орбите представляет собой почти линейную зависимость, причем основные изменения обусловлены главным образом разрушением космических аппаратов и циклами солнечной активности: а) общее число объектов, включая объекты, не значащиеся в официальном каталоге; б) общее число объектов по официальному каталогу; в) фрагментированный мусор; г) космические летательные аппараты; д) верхние ступени ракет; е) рабочий мусор.

2. В потенциальном отношении более отдаленным источником роста количества каталогизированных объектов является фрагментация как следствие столкновения двух каталогизированных объектов. Если количество каталогизированных объектов будет возрастать, то интенсивность фрагментации от столкновений может превысить интенсивность фрагментации от взрывов. Было проведено несколько исследований с целью изучения возможности наступления эффекта каскадирования на низкой околоземной орбите (НОО), когда интенсивность образования мусора от столкновений может превысить интенсивность его удаления в силу воздействия аэродинамического сопротивления. Такое обстоятельство может привести к росту количества объектов орбитального мусора несмотря на меры по ограничению в будущем числа взрывов. Диаграмма II иллюстрирует возможный рост в будущем количества фрагментов мусора, в частности, возможность отдаленного роста количества объектов размером свыше 1 сантиметра.

Диаграмма П. Отдаленная динамика засорения космоса фрагментами мусора размером свыше 1 см (при сохранении действующих условий). Увеличение в будущем количества объектов мусора будет происходить за счет нескольких источников: а) спутники, последние ступени ракет и объекты, связанные с запуском; б) фрагментация от взрывов; с) фрагментация от столкновений.

3. При сохранении действующих условий, как показывает кривая, орбитальный мусор будет продолжать накапливаться. В краткосрочном плане эта тенденция роста будет обусловлена главным образом взрывами. В долгосрочном плане, как следствие разрушений от случайных столкновений между более крупными объектами, количество частиц мусора резко возрастет (эффект каскадирования от столкновений), в связи с чем выполнение космических проектов на некоторых высотах в значительной степени осложнится. Поэтому в районах с плотным насыщением спутниками следует избегать скопления крупных объектов, с тем чтобы исключить возможность образования значительного количества мусора в результате столкновений.

4. В предыдущих исследованиях исходили из предположения, что популяции спутников будут относительно равномерно распределяться на сотни километров, однако с появлением таких спутниковых систем, как "Иридий" или "Теледезик", следует несколько по-иному подойти к анализу этих явлений. Совершенно очевидно, что многоспутниковые системы, создаваемые на более тесных участках космического пространства, будут в гораздо большей степени зависеть от плотности популяции спутников на орбите в связи с ростом опасности столкновения и разрушения. Конструкторы и операторы спутниковых систем должны уделять самое пристальное внимание не только процедурам запуска на орбиту своих собственных систем, а также процедурам их эксплуатации

и удаления по завершении всех запланированных работ, но и действиям других пользователей на соседних участках космического пространства.

5. Точное прогнозирование динамики засорения космоса невозможно по причине постоянного увеличения числа пользователей космическим пространством и количества запускаемых космических аппаратов, особенно в связи с появлением новых технологий малых спутников и систем спутников связи. Неопределенность в отношении будущего состояния космической среды усугубляется также тем, что не ясно, как часто будут происходить взрывы и столкновения. Столкновение между двумя объектами может привести к возникновению многочисленных фрагментов, количество и размер которых будут зависеть от целого ряда факторов, в частности от массы сталкивающихся объектов и их скорости в момент столкновения.

6. Меры по уменьшению интенсивности техногенного засорения космоса имеют два аспекта: во-первых, защита от воздействия космического мусора (недопущение столкновения с ним) и, во-вторых, меры, исключаящие образование космического мусора. В данной работе нам хотелось бы остановиться на вопросах контроля засорения космического пространства. Поскольку экономически приемлемых методов очистки космического пространства от мусора пока не существует, основное внимание следует уделять мерам контроля, исключаящим образование мусора.

ВАРИАНТЫ И ВОПРОСЫ КОНТРОЛЯ ТЕХНОГЕННОГО ЗАСОРЕНИЯ КОСМОСА

7. Вопрос о необходимости изменения процедуры проведения космических полетов (запуск, вывод на орбиту и работа на ней, а также завершающая стадия полета) дебатировался уже давно. Во всех исследованиях, посвященных долговременной эволюции процесса образования орбитального мусора ученые пришли к выводу, что без изменения процедур запуска космических аппаратов районы околоземного космического пространства окажутся настолько засоренными, что стоимость проведения самых обычных операций в космосе существенно возрастет. Предлагаемые варианты снижения интенсивности образования орбитального мусора в значительной степени зависят от высоты орбиты космического полета, конструкции космического аппарата и решимости международного космического сообщества.

Варианты контроля техногенного засорения космоса

8. Бороться с мусором можно двумя путями: предупреждать его образование или заниматься его удалением. Удаление мусора предполагает его удаление с орбиты немедленно или через некоторое время. Сюда относятся и перевод космического объекта на промежуточную орбиту со временем нахождения на орбите, не превышающем определенный максимальный срок. В таблице 1 приводятся отдельные способы контроля техногенного засорения космоса по каждой из вышеуказанных категорий.

Таблица 1. Методы предупреждения образования или удаления мусора

Предупреждение	Удаление
Конструкция и эксплуатация	Возвращение
Пассивация	Принудительное маневрирование
Сохранение защитных покрытий и отделяемых блоков	Удаление с орбиты с помощью буксировки или благодаря усилению аэродинамического сопротивления или солнечному парусу

9. Частично эти методы уже добровольно применяются некоторыми пользователями космического пространства. Однако исследования в этой области необходимо продолжать и прежде всего следует установить, какие методы являются реальными и эффективными. Некоторые методы предупреждения, уже используемые в ограниченном масштабе, предусматривают:

- пассивацию последних ступеней;
- применение мусороуловителей для пироболтов;
- сокращение количества отделяемых блоков;
- переводка на орбиту захоронения (ОЗ);
- размещение на одной ракете-носителе нескольких полезных грузов.

10. В ряде случаев уже опробывались некоторые методы удаления мусора: например, с помощью американского МТКК "Шаттл" или путем перевода КА на другую орбиту, например транспортных кораблей "Прогресс".

Пассивация

11. Важным методом предупреждения засорения является пассивация оборудования в целях недопущения его разрушения взрывом. Пассивация означает удаление с борта космического аппарата или последней ступени всей аккумулированной на борту энергии путем ее полной выработки и/или путем стравливания компонентов топлива и сжатых газов и отключения батарей в целях приведения объекта в нерабочее состояние. Возвращение крупногабаритных отработавших блоков представляется делом дорогостоящим и сложным, однако совершенно очевидно, что удаление осколков мусора, которые могут появиться в результате фрагментации такого объекта - дело, вероятно, еще более трудоемкое и еще более дорогостоящее. В прошлом компоненты топлива и сжатые газы весьма успешно удалялись из корпусов ракет на НОО, и поэтому считается, что в будущем безопасность в значительной степени можно будет обеспечить именно с помощью этого метода. Процедуры удаления компонентов топлива регулярно применяются на некоторых ракетах-носителях, что позволяет снизить вероятность их фрагментации в будущем. Начиная с полета V-59, все верхние ступени ракеты-носителя "Ариан" подвергаются продувке независимо от характера орбиты. В верхних ступенях ракет "Дельта" и "Лонг Марч" после того, как они выведут на орбиту полезную нагрузку и осуществляют маневр, чтобы избежать столкновения, полностью выжигается запас топлива. На второй ступени (LE-5) японской ракеты-носителя Н-1 после отделения полезной нагрузки стравливается остаточное топливо и реактивное газовое топливо основного двигателя. Аналогичная процедура применяется на ракете-носителе Н-2. В четвертой ступени ракеты "Протон" и последней ступени ракеты "Кентавр" топливо удаляется по завершении программы полета. К сожалению, эта процедура не применялась более чем в 30 случаях, когда необходимо было слить жидкое топливо из последних ступеней ракет, находившихся рядом с ГСО. К этой процедуре следует прибегать всегда, когда это практически возможно, и включать продувку жидкостных систем контроля высоты и распределения нагрузки твердотопливных стартовых ракетных двигателей. В ряде случаев в прошлом незначительные разрушения происходили вследствие длительного перезаряда устанавливаемой на спутнике химической батареи, и в будущем для предупреждения подобных случаев необходимо будет принимать соответствующие меры предосторожности.

Орбиты захоронения

12. Еще одной важной категорией предупредительных мер является выведение объекта на орбиту захоронения. Так, например, геостационарные спутники по окончании срока службы можно выводить на орбиты, расположенные на нескольких сотнях километров выше ГСО, с тем чтобы не они создавали помех для других действующих космических аппаратов. В настоящее время перевод на

другую орбиту является единственным способом, позволяющим практически снизить риск столкновения на ГСО. Такой перевод осуществлялся уже более 90 раз. Высоту орбиты рекомендуется повышать минимум на 300 км. При этом запускать двигатели следует многократно, с тем чтобы снять все сомнения относительно оценки остатка компонентов топлива. В конечном итоге необходимо будет разработать более надежный метод захоронения на основе использования новейших технологий, например гелиотермоэлектрической тяги.

Возвращение

13. Возвращение означает возвращение на Землю, без каких-либо повреждений, космического летательного аппарата или других космических объектов с помощью космического транспортного средства, которое может возвращаться в плотные слои атмосферы, например, с помощью американского МТКК "Шаттл" или спускаемого отсека "Союз". Примерами возвращенных на Землю космических аппаратов являются "Palapa-A", "Westar-B", LDEF, EURECA, SFU, а также солнечная решетка космического телескопа Хаббла. Однако эти объекты были возвращены на Землю по причинам, не имеющим никакого отношения к снижению засорения космоса. Кроме того, возможности "Шаттла" в связи с возвращением космических объектов ограничиваются высотой в 600 км.

Сход с орбиты

14. Эффективный метод удаления объектов из космического пространства заключается в том, чтобы обеспечить их сход с орбиты. Он предусматривает включение двигательной установки и проведение маневра, заставляющего объект войти в плотные слои атмосферы и незамедлительно прекратить существование, перейти на промежуточную орбиту с ограниченным сроком нахождения на ней (например, 25 лет), использование буксирных тросов для увода объекта с орбиты или сокращения времени его пребывания на орбите, а также применение других способов (повышение аэродинамического сопротивления, давление солнечного излучения), чтобы сократить сроки пребывания объектов на орбите.

15. Использование двигательной установки для увода объекта с орбиты или по крайней мере для сокращения продолжительности его нахождения на орбите уже сейчас можно применять для увода с орбиты некоторых ступеней ракет, однако он едва ли применим в отношении большинства крупных отработавших блоков. Если ступень ракеты оснащена аппаратурой управления и стабилизации, то даже незначительный маневр (в сторону от отделившегося космического аппарата, с тем чтобы не допустить его загрязнения отработанными газами) и последующий запуск двигателя может привести к требуемому изменению параметров орбиты.

16. В рамках российских и бывших советских программ управляемых космических полетов транспортные корабли "Прогресс" и космические станции, за исключением станций "Космос-557", "Салют-2" и "Салют-7"/"Космос-1686", уводились с орбиты и прекращали свое существование в отдаленных районах Мирового океана.

17. Для использования силы аэродинамического сопротивления, давления солнечного света или удаления объектов с орбиты путем их буксировки необходимо соответствующее оборудование, которого еще нет и применение которого снижает полетные характеристики. Для увеличения аэродинамического сопротивления можно было бы использовать надувные приспособления, которые после разворачивания должны приобретать жесткую форму и существенно увеличивать площадь поперечного сечения, в результате чего должно усиливаться аэродинамическое сопротивление объекта в атмосфере. Наиболее эффективно аэродинамическое сопротивление должно срабатывать на небольшой высоте полета, не превышающей 600-700 км, хотя определенные результаты могут быть получены и на больших высотах до 1 200 км. Однако необходимо отметить, что использование

технических приспособлений для увеличения аэродинамического сопротивления и использования солнечного давления неизбежно ведет к увеличению физических габаритов и, соответственно, поперечного сечения удаляемого объекта, что чревато большей опасностью столкновения.

Трудности на Земле

18. Со времени запуска первого спутника Земли на околоземную орбиту было выведено приблизительно 25 000 каталогизированных объектов. Около 16 000 из них были возвращены в плотные слои атмосферы, и при этом большинство из них разрушилось или сгорело, и лишь очень немногие достигли поверхности Земли. Так, поверхности Земли достигли твердые обломки ряда космических аппаратов или ступеней ракет ("Космос-954", "Скайлэб", "Салют-7"/"Космос-1686"), за падением которых велось наблюдение. Можно предположить, что таких случаев было гораздо больше, однако они не фиксировались. Если исходить из того, что какие-то блоки космического летательного аппарата или ступени ракеты могут падать на Землю, то желательно, чтобы обеспечивалось их контролируемое возвращение и уничтожение в отдаленных районах Мирового океана.

Расчистка околоземного космического пространства от отработавших космических объектов

19. Проблема перемещения объектов, не оснащенных своими собственными двигательными установками, спустя годы после того, как они перестали функционировать, сопряжена с определенными трудностями. Если объект (космический аппарат или корпус ракеты), оснащенный двигательной системой, находится на орбите, возможно, в течение многих лет, то при включении системы для маневра она может не сработать, что представляет препятствие и опасность для последующей эксплуатации орбиты. Если на объекте устанавливать двигательную систему с дистанционным управлением, то необходимо будет прилагать немало усилий для того, чтобы осуществлять сближение и стыковку с объектом (возможно, с опасными элементами конструкции) и координировать все операции. Космический мусор можно было бы эффективно удалять с помощью "межорбитального буксира" с дистанционным управлением, выводимым на орбиту для сближения с крупногабаритными отработавшими объектами и их увода с орбиты. Однако конструктивно создание такого аппарата-тральщика на основе имеющихся технологий является делом чрезвычайно дорогостоящим. Другим способом перемещения отработавших блоков является использование солнечного паруса, который позволяет изменять параметры орбиты под давлением солнечного излучения. В этом случае должны существенно возрасти расходы на создание такой техники; кроме того, такая техника позволяет изменять параметры орбиты очень медленно, однако этот способ можно будет достаточно эффективно применять на самых разных высотах. С помощью буксировочного троса можно осуществлять удаление объектов различными способами: путем передачи импульса движения при выводе на орбиту или при сходе с нее, а также за счет электромагнитной тяги. В любом случае для буксировки необходимо сконструировать и изготовить соответствующее приспособление и решить ряд проблем, связанных с надежностью его функционирования в случае совмещения такого оборудования с существующими высокосложными системами. Еще один вариант удаления фрагментов мусора с орбиты заключается в использовании мощных (наземных) лазерных установок. За счет энергетического воздействия на космический объект и дисперсии ему может быть придан импульс, который может заставить его немедленно сойти с орбиты или сократить его время нахождения на орбите. Эта методика может оказаться достаточно перспективной, если будут преодолены некоторые трудности (не будет наноситься ущерб действующим космическим аппаратам, не будет создаваться дополнительный малоразмерный мусор).

20. Непосредственный вывод, который можно сделать из вышеприведенных соображений, заключается в том, что для экономически оправданного удаления фрагментов мусора требуется на начальном этапе осуществления проекта запуска КА выполнить ряд соответствующих требований, ибо всего лишь незначительные конструктивные изменения могут открыть новые возможности для удаления осколков мусора при относительно низких затратах.

РЕКОМЕНДУЕМЫЕ МЕРЫ КОНТРОЛЯ ТЕХНОГЕННОГО ЗАСОРЕНИЯ КОСМОСА

21. Существует необходимость в выработке согласованных на международном уровне мер контроля засорения в целях поддержания в чистоте рабочих высот для функционирующих космических аппаратов, однако до сих пор нет единства мнений относительно сроков и уровня приемлемости различных вариантов решения этой проблемы. Для того чтобы выяснить, каким вариантам мер и каким типам конструкций следует отдать предпочтение, можно в качестве одного из надежных способов провести серию углубленных исследований, которая позволит определить правильное соотношение затрат и выгод. Хотя подобные аналитические исследования имеют принципиально важное значение для оценки относительных преимуществ предлагаемых вариантов решений, Международная академия астронавтики придерживается той точки зрения, что существует целый ряд мер, которые необходимо принять незамедлительно для обеспечения безопасных условий космических полетов в будущем и которые будут перечислены в конце настоящего документа. Участие космических стран и соответствующих предприятий аэрокосмической промышленности позволит оценить соотношение затрат и выгод. Потери, обусловленные утратой лишь нескольких действующих КА в результате столкновения с орбитальным мусором и/или отказа от использования определенного диапазона высот, могут превысить расходы, о которых говорилось в настоящем документе в связи с реализацией различных вариантов мер контроля. Эти меры контроля, которые предстоит рассмотреть ниже, подразделяются на две категории: меры, оказывающие минимальное воздействие на конструкцию и эксплуатацию, и меры, требующие существенных изменений конструкции космических аппаратов или методов их эксплуатации. Обе категории мер не требуют разработки новой технологии. Меры категории I следует осуществлять незамедлительно, а меры категории II должны осуществлять все операторы космической техники с конкретного согласованного момента времени.

Меры категории I

22. Категория I включает меры, не требующие изменений или требующие ограниченных изменений в конструкции и влекущие в целом минимальные затраты. Они могут повлечь конструктивные изменения КА и эксплуатационных методов. Вместе с тем в результате применения таких мер могут незначительно снизиться технические характеристики. Осуществление таких мер имеет приоритетное значение и все операторы космической техники должны незамедлительно приступить к их осуществлению. К категории I относятся следующие меры:

a) отказ от преднамеренного разрушения КА, приводящего к засорению орбит длительного пребывания;

b) сведение к минимуму засорения в связи с проведением полетов. Во многих случаях можно использовать весьма эффективные с точки зрения затрат инженерные решения, осуществление которых не сопряжено со значительными затратами. Тем не менее в некоторых случаях такие расходы могут оказаться достаточно значительными, поскольку в конструкцию КА необходимо будет внести существенные изменения (например, установить возвратное устройство и отдельные двигатели для создания разгонного импульса тяги в апогее (ДРА));

c) пассивация (продувка, полная выработка компонентов топлива и обезвреживание химической аккумуляторной батареи) последних ступеней и КА на любой околоземной орбите по завершении программы полета;

d) для КА и последних ступеней ракеты-носителя, запускаемых на высоту до 2 000 км и имеющих избыточное топливо по окончании эксплуатации - снижение высоты в перигее для сведения к минимуму времени нахождения на орбите;

e) перевод геостационарных спутников по истечении их срока службы на орбиту захоронения. Объект необходимо выводить на высоту не менее 300 км над геостационарной орбитой в точке перигея над геостационарной орбитой);

f) последние ступени и отработанные ДРА, используемые для перевода геостационарных спутников с ГПО на ГСО, следует выводить на орбиту захоронения, расположенную по крайней мере на 300 км выше геостационарной орбиты, и освобождать от остатков топлива.

Меры категории II

23. К категории II относятся меры, которые требуют существенных изменений либо конструкции, либо режима работы. Вместе с тем такие меры не требуют дополнительных технических проработок. Меры категории II преследуют цель удаления с орбиты отработавших верхних ступеней ракет и нерабочих КА в течение срока, не превышающего максимальный срок эксплуатации (T_{max}), что позволяет устранить один из основных источников образования космического мусора. Приводимый ниже перечень таких мер позволяет дать количественную оценку различных возможных вариантов. На основе обсуждений и прений в ходе таких признанных международных форумов, как Межагентский координационный комитет по космическому мусору и КОПУОС, необходимо достигнуть соглашения по T_{max} и отрезкам времени, после которых необходимо осуществление этих мер. На некоторых орбитальных участках существует определенная приоритетность в осуществлении мер категории II. Неоправданная задержка с их осуществлением приведет к дальнейшему ухудшению состояния космической среды. Удаление крупногабаритных или компактных объектов, которые могут частично уцелеть после прохождения плотных слоев атмосферы, осуществляется за счет маневра схода с орбиты, позволяющего обеспечить вход в атмосферу над тем или иным районом Мирового океана при пролете очередной точки перигея. Объекты, которые полностью сгорают при прохождении плотных слоев атмосферы, следует выводить на орбиты, время нахождения на которых является ограниченным, например 25 лет (T_{max}). Поэтому в данном случае будут использоваться возмущения, вызываемые естественными факторами:

a) после завершения программы полета все последние ступени ракет и отработавших КА уводятся с орбит, высота апогея которых составляет менее 2 000 км, в течение максимально допустимого срока службы;

b) после завершения программы полета все последние ступени ракет и КА уводятся с геостационарных переходных орбит, с орбит перехода на 12-часовые орбиты или другие орбиты с эксцентриситетом, высота которых в перигее составляет менее 2 000 км, в течение максимально допустимого срока службы;

c) увод последних ступеней и спутников по истечении сроков их службы на орбиту захоронения (в качестве временной меры) в отношении круговых орбит, расположенных на высоте более 2 000 км.

24. Меры контроля техногенного засорения космоса, относящиеся к категории I и II, могут осуществляться за счет использования имеющихся технологий.

Прогноз на будущее

25. Необходимо продолжать изучение новых методов снижения техногенного засорения космоса, проводить технико-экономические обоснования и определять эффективность с точки зрения затрат. Особую ценность для космической среды будут иметь усовершенствованные двигательные установки и пусковые установки многократного использования, в частности последние ступени многократного

использования. Усовершенствованные двигательные установки могут снизить затраты на вывод с орбиты или обеспечить эффективный вывод с высокоэнергетических орбит.

ВЫВОДЫ

26. Несмотря на осуществление ряда мер по предупреждению засорения, количество и объем техногенных объектов в космосе постоянно увеличиваются.

27. Прогнозы интенсивности засорения на будущее убедительно свидетельствуют о необходимости применения более жестких мер контроля засорения на конкретных орбитальных участках. Каждый случай разрушения космических объектов (столкновение, взрыв), приводящий к образованию мусора на орбите с длительным сроком службы, увеличивает пространственную плотность засорения и создает проблему, которую придется решать будущим поколениям.

28. Меры контроля засорения преследуют цель сохранить насыщение околоземного космического пространства техногенными объектами на важных орбитах в разумных пределах и обеспечить безопасность космических полетов. Неспособность осуществлять контроль засорения может привести к тому, что некоторые орбитальные участки будут безвозвратно утрачены для целей космической деятельности.

29. Учитывая возможность необратимой деградации некоторых из наиболее ценных орбитальных участков, Международная академия астронавтики настоятельно призывает космические государства принять необходимые шаги в целях обеспечения безопасности будущих космических полетов.