



Генеральная Ассамблея

Distr.: General
14 December 1998
Russian
Original: English

**Комитет по использованию космического
пространства в мирных целях**

**Проект технического доклада Научно-технического подкомитета
о космическом мусоре**

Содержание

	<u>Пункты</u>	<u>Страница</u>
Введение	1-9	3
1. Методы измерения космического мусора	10-59	5
1.1. Наземные измерения	10-30	5
1.1.1. Радиолокационные измерения	11-24	5
1.1.2. Оптические измерения	25-30	7
1.2. Измерения в космосе	31-44	9
1.2.1. Возвращаемые части поверхностей и датчики соударений	31-39	9
1.2.2. Измерения мусора из космоса	40-44	11
1.3. Резюме измерений	45	12
1.4. Создание каталогов и баз данных	46-52	12
1.5. Воздействие засоренности космического пространства на функционирование космических систем	53-58	16
1.5.1. Воздействие крупных объектов космического мусора на функционирование космических систем	54	16
1.5.2. Воздействие малоразмерных объектов космического мусора на функционирование космических систем	55	17
1.5.2.1. Повреждения поверхности или подсистем	56	17
1.5.2.2. Воздействие засоренности космического пространства на пилотируемые полеты	57-58	17
1.6. Другие виды воздействия засоренности космического пространства	59	17
2. Моделирование засоренности космического пространства и оценка опасности столкновения	60-93	17
2.1. Моделирование засоренности космического пространства	60-77	17
2.1.1. Введение и методология	60-66	17
2.1.2. Краткосрочные модели	67-68	20
2.1.3. Долгосрочные модели	69-77	22

2.2.	Оценка опасности столкновения с космическим мусором	78-93	24
2.2.1.	Введение	78-79	24
2.2.2.	Оценка опасности столкновения на низкой околоземной орбите ...	80-85	25
2.2.2.1	Методология	80-82	25
2.2.2.2.	Результаты оценки опасности столкновения	83-85	26
2.2.3.	Оценка опасности столкновения на геостационарной орбите	86-88	26
2.2.4.	Оценка опасности входа в атмосферу фрагментов космического мусора	89-93	28
3.	Меры по уменьшению засорения и защите от космического мусора	94-129	28
3.1.	Уменьшение засорения с течением времени	94-103	28
3.1.1.	Предупреждение образования мусора при штатных операциях	94-96	28
3.1.1.1.	Объекты, связанные с космическими полетами	94	28
3.1.1.2.	Тросы	95	29
3.1.1.3.	Выбросы твердотопливных ракетных двигателей, краска и другие внешние материалы	96	29
3.1.2.	Предупреждение разрушений на орбите	97-100	29
3.1.2.1.	Взрывы на орбите	98-99	29
3.1.2.2.	Столкновения на орбите	100	30
3.1.3.	Спуск с орбиты и перевод на более высокую орбиту космических объектов	101-103	30
3.1.3.1.	Завершение программы полета космических систем	101-102	30
3.1.3.2.	Возникновение неисправностей	103	30
3.2.	Стратегии защиты	104-118	30
3.2.1.	Экранная защита	105-111	31
3.2.1.1.	Пилотируемые космические полеты	108-110	31
3.2.1.2.	Беспилотные космические аппараты	111	32
3.2.2.	Предотвращение столкновений	112-118	32
3.2.2.1.	Маневрирование на орбите	114-117	32
3.2.2.2.	Запуск	118	33
3.3.	Эффективность мер по уменьшению засорения и защите от космического мусора	119-129	33
3.3.1.	Сценарии мер по уменьшению засорения	122-124	34
3.3.2.	Финансовые или иные последствия принятия мер по уменьшению засорения	125-129	35
3.3.2.1.	Расходы на разработку систем	126	35
3.3.2.2.	Проигрыш в характеристиках запуска и в массе	127	35
3.3.2.3.	Продолжительность срока службы	128	36
3.3.2.4.	Надежность	129	36
4.	Резюме	130-135	36
	Приложение. Перечень документов, касающихся темы "Космический мусор"		38

Введение

1. Вопрос о космическом мусоре был включен в повестку дня Научно-технического подкомитета на его тридцать первой сессии в феврале 1994 года в соответствии с резолюцией 48/39 Генеральной Ассамблеи от 10 декабря 1993 года. На своей тридцать первой сессии Подкомитет выразил удовлетворение в связи с тем, что вопрос о космическом мусоре после долгих лет его обсуждения на различных международных форумах, включая сессии Подкомитета и Комитета по использованию космического пространства в мирных целях, наконец был включен в повестку дня в качестве отдельного пункта. Подкомитет пришел к мнению, что рассмотрение вопроса о космическом мусоре имеет важное значение и что существует необходимость в международном сотрудничестве для разработки соответствующих экономически приемлемых стратегий минимизации потенциального воздействия засоренности космического пространства на будущие космические полеты (A/AC.105/571, пункт 64). На своих последующих сессиях Подкомитет продолжил рассмотрение в первоочередном порядке этого пункта повестки дня.

2. Подкомитет согласился с тем, что важно иметь надежную научно-техническую основу для будущих мероприятий по решению сложных вопросов, связанных с космическим мусором, и что ему следует, в частности, сосредоточить внимание на рассмотрении тех аспектов исследований, которые касаются космического мусора, включая методы измерения космического мусора; математическое моделирование засоренности околоземного пространства; определение параметров среды космического мусора; и меры по уменьшению опасности столкновения с космическим мусором, включая конструктивные решения по защите космических аппаратов от космического мусора (A/AC.105/605, пункт 79). Для продвижения процесса рассмотрения проблемы космического мусора Подкомитет на своей тридцать второй сессии принял следующий план работы (A/AC.105/605, пункт 83):

1996 год: Измерения космического мусора, понимание данных и воздействия засоренности на космические системы. Измерения космического мусора охватывают все процессы, позволяющие получить информацию о среде частиц в околоземном пространстве на основе применения датчиков, размещенных на поверхности Земли и в космосе. Следует охарактеризовать воздействие (соударение с частицами и причинение в результате этого ущерба) такой среды на космические системы;

1997 год: Моделирование среды космического мусора и оценка риска. Модель засоренности космического пространства представляет собой математическое описание текущего и будущего распределения фрагментов мусора в космосе в зависимости от их размеров и других физических параметров. Необходимо уделить внимание следующим аспектам: анализ моделей фрагментации; эволюция засоренности космического пространства в краткосрочной и долгосрочной перспективе; и сопоставление моделей. Следует провести критический обзор различных методов оценки опасности столкновений;

1998 год: Меры по уменьшению засорения и защите от космического мусора. Меры по уменьшению засорения и защите от космического мусора предусматривают снижение темпов образования космического мусора и обеспечение защиты от ударов частиц. Меры по снижению темпов засорения включают методы предупреждения образования и устранения мусора. Защита от воздействия космического мусора предусматривает физическую защиту в виде экранной оболочки и защиту путем предотвращения столкновений.

3. На каждой сессии было предусмотрено проводить анализ уже применяемых на практике мер по уменьшению засорения и рассматривать перспективные методы такой деятельности с точки зрения эффективности затрат. Подкомитет решил, что план работы следует осуществлять на основе гибкого подхода и что независимо от выбора конкретной темы для следующей сессии делегациям, желающим выступить на сессии Подкомитета по другим аспектам научных исследований, касающихся космического мусора, следует предоставлять такую возможность (A/AC.105/605, пункты 83-84).

4. Подкомитет отметил, что в ряде стран уже проведены определенные исследования по проблеме космического мусора, которые позволили больше узнать об источниках образования мусора, об областях околоземной орбиты с высокой плотностью фрагментов космического мусора, о вероятности и последствиях столкновений, а также понять необходимость сведения к минимуму возможности появления космического мусора

(A/AC.105/605, пункт 88). Подкомитет решил, что государствам-членам необходимо уделять больше внимания проблеме столкновений космических объектов, включая аппараты с ядерными источниками энергии на борту, с космическим мусором и другим аспектам проблемы космического мусора. Подкомитет решил также, что национальные исследования по проблемам космического мусора следует продолжать и что государства-члены должны сообщать всем заинтересованным сторонам о результатах таких исследований (A/AC.105/605, пункт 85)¹.

5. Подкомитет призвал государства-члены и соответствующие международные организации представлять информацию о применяемых ими практических методах, которые позволяют эффективно сводить к минимуму засорение космического пространства (A/AC.105/605, пункт 88). Такая информация собиралась Секретариатом и публиковалась в качестве документов Организации Объединенных Наций. Перечень документов, касающихся темы космического мусора, представлен в приложении к настоящему документу.

6. С целью выработки общего понимания термина "космический мусор" Подкомитет на своей тридцать второй сессии предложил определение этого термина, которое на последующих сессиях было несколько изменено и сформулировано следующим образом: "Космический мусор означает все находящиеся на околоземной орбите или возвращающиеся в плотные слои атмосферы антропогенные объекты, включая фрагменты или части таких объектов, независимо от возможности или невозможности определения их владельцев, которые закончили активное существование и которые, как следует разумно предполагать, не смогут начать или возобновить выполнение своих предполагаемых функций или каких-либо других функций, для которых они могут быть предназначены" (A/AC.105/672, пункт 112). Однако основанного на консенсусе согласия в отношении такого определения до сих пор достичь не удалось.

7. На своей тридцать третьей сессии Подкомитет приступил к составлению технического доклада о космическом мусоре с целью выработать общее понимание проблемы, которое в свою очередь может послужить основой для дальнейшего обсуждения этого важного вопроса в рамках Комитета. Структура технического доклада была определена с учетом конкретных тем, включенных в план работы на период 1996-1998 годов, при этом доклад ежегодно пополнялся новой информацией. Составлением текста доклада в ходе сессий Подкомитета занималась неофициальная группа экспертов, предоставленных государствами-членами. При составлении технического доклада анализировались подготовленные к сессиям рабочие документы и научно-технические доклады, представленные экспертами по проблеме космического мусора.

8. Особенно ценный вклад в подготовку всех разделов технического доклада, включая графические и цифровые данные, внес Межагентский координационный комитет по космическому мусору (МККМ), который был официально учрежден в 1993 году, с тем чтобы космические агентства могли обмениваться информацией об исследованиях по проблеме космического мусора, анализировать прогресс осуществляемых совместных мероприятий, содействовать сотрудничеству в исследованиях по проблеме космического мусора и выявлять возможности для снижения засорения космического пространства. Основателями МККМ были Европейское космическое агентство (ЕКА), Япония, Национальное управление по аэронавтике и исследованию космического пространства (НАСА) Соединенных Штатов Америки и Российское космическое агентство (РКА). В 1995 году к МККМ присоединился Китай, в 1996 году - Британский национальный космический центр, Национальный центр космических исследований (КНЕС) Франции и Индийская организация космических исследований (ИСРО), а в 1997 году - Германская организация аэрокосмических исследований (ДЛР). О желании присоединиться к МККМ недавно заявило Итальянское космическое агентство (АСИ).

9. На своей тридцать пятой сессии Подкомитет решил, что окончательный технический доклад Подкомитета о космическом мусоре должен быть принят на его тридцать шестой сессии в 1999 году по завершении редакционной работы в межсессионный период и после рассмотрения соответствующими организациями (такими, как МККМ и Международная академия аэронавтики (МАС)).

1. Методы измерения космического мусора

1.1 Наземные измерения

10. Наземные измерения, осуществляемые в рамках дистанционного зондирования космического мусора, в целом подразделяются на две категории: радиолокационные измерения и оптические измерения. Радиолокационные измерения космического мусора, как правило, используются в отношении низкой околоземной орбиты (НОО), а оптические измерения - в отношении высокой околоземной орбиты (ВОО). При пассивных оптических измерениях сила отраженного сигнала обратно пропорциональна квадрату дальности или высоты объекта, поскольку освещенность солнцем по существу не зависит от высоты. При радиолокационных измерениях сила отраженного сигнала обратно пропорциональна дальности в четвертой степени, поскольку РЛС должны сами обеспечивать подсветку. В результате даже небольшой оптический телескоп способен превзойти большинство РЛС в том, что касается обнаружения мусора на больших высотах. С помощью оптических телескопов проводятся некоторые измерения небольших частиц мусора на НОО, однако в целом РЛС позволяют производить более точные измерения объектов на НОО.

1.1.1 Радиолокационные измерения

11. 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 большом удалении являются значительный расход электроэнергии и рабочая длина волны.

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

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

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

13. РЛС первого типа используются в основном для сопровождения и/или формирования изображения спутников, а второго типа - в основном как для слежения, так и для поиска.

14. Для наблюдения за космическим мусором применимы следующие режимы работы РЛС: режим слежения; режим фиксации луча; и смешанный режим (иногда именуемый режимом наблюдения и преследования).

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

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

17. В смешанном режиме РЛС сначала работает в режиме фиксированного 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 фиксированного луча.

18. Используются РЛС как моностатической конфигурации (общая антенна для передатчика и приемника), так и бистатической конфигурации (одна антенна для передачи, а вторая антенна для приема). В бистатическом

режиме в дополнение к излучающей антенне используется автономная приемная антенна. Это позволяет повысить чувствительность, т.е. дает возможность обнаруживать менее крупные объекты, и гибко сочетать различные типы антенн.

19. 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 объекта вокруг своего центра массы;
- c) размер и форма объекта;
- d) срок существования на орбите;
- e) баллистический коэффициент, как он определен в пункте 47(g) ниже, уточняющий скорость, на которой происходит вырождение большой полуоси орбиты;
- f) масса объекта; и
- g) физические свойства.

20. Полученные данные измерений могут заноситься в каталоги космических объектов, в которые может включаться также статистическая информация о количестве обнаруженных объектов конкретного размера в конкретном районе в конкретное время.

21. Российская Федерация и Соединенные Штаты (Космическое командование Соединенных Штатов) имеют в своем распоряжении сети РЛС (и оптических телескопов) для обнаружения, сопровождения и каталогизации орбитальных космических объектов. Эти каталоги ведутся со времени запуска первого искусственного спутника в 1957 году и содержат данные о фрагментах космического мусора размером 10-30 см в диаметре.

22. Соединенные Штаты с помощью РЛС "Хейстек", "Хейстек огзилиари" (НАХ) и "Голдстоун", Российская Федерация с помощью некоторых своих РЛС и Германия с помощью РЛС ФГАН (Центр прикладных научных исследований в Вахтберг-Верховене) и Эффелсбергского радиотелескопа проводили радиолокационные измерения в целях получения статистических данных об ансамбле фрагментов орбитального мусора размером менее 30 см (номинальный предел по каталогам Соединенных Штатов и Российской Федерации). С помощью РЛС "Хейстек", НАХ и "Голдстоун" удалось получить статистическую информацию о находящихся на 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 засоренность метеорными телами по объектам всех размеров (за исключением диапазона 30-500 мкм).

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

24. Существующие и планируемые радиолокационные средства наблюдения за частицами космического мусора размером менее 10-30 см в диаметре приводятся в таблице 1.

Таблица 1.
Радиолокационные средства наблюдения за космическим мусором

Страна	Организация	РЛС	Тип	Основной режим работы	Конфигурация	Сектор обзора	Длина волны (м)	Чувствительность (диаметр объекта (м) и удаление)	Состояние системы
Германия	ФГАН	TIRA	Параболическая антенна	Смешанный	Моностатическая	0,5	0,23	0,02 на 1 000 км	Действующая
Германия	МПИР	Эффельсберг	Параболическая антенна	Наблюдение	Бистатическая с TIRA	0,16	0,23	0,009 на 1 000 км	Экспериментальная
Япония	Киотский университет	РЛС СВ	Фазированная антенная решетка	Наблюдение	Моностатическая	3,7	6,4	0,2 на 500 км	Действующая
Япония	ИСАС	Утиноура Усуда	Параболическая антенна	Смешанный	Бистатическая	0,4	0,13	0,02 на 500 км	Экспериментальная
Япония	ИСАС	Усуда	Параболическая антенна	Смешанный	Бистатическая	0,13	0,13	0,02 на 500 км	Экспериментальная
Украина/ Российская Федерация		Евпатория	Параболическая антенна	Наблюдение	Бистатическая	0,1	0,056	0,003 на 1 000 км	Разрабатывается
Соединенные Штаты	НАСА/ННФ	Аресибо	Параболическая антенна	Наблюдение	Бистатическая	0	0,13	0,004 на 575 км	Одноразовый эксперимент
Соединенные Штаты	НАСА/МО	"Хейстек"	Параболическая антенна	Наблюдение	Моностатическая	0,1	0,03	0,006 на 1 000 км	Действующая
Соединенные Штаты	НАСА/МО	НАХ	Параболическая антенна	Наблюдение	Моностатическая	0,1	0,02	0,05 на 1 000 км	Действующая
Соединенные Штаты	НАСА	"Голдстоун"	Параболическая антенна	Наблюдение	Бистатическая	0	0,035	0,002 на 500 км	Действующая
Соединенные Штаты	МО	TRADEX	Параболическая антенна	Смешанный	Моностатическая	0,61/ 0,30	0,23/ 0,10	0,03 на 500 км	Действующая

1.1.2 Оптические измерения

25. Космический мусор можно обнаружить с помощью телескопа, когда освещенный солнцем объект находится на фоне темного неба. Для объектов на НОО период возможного обнаружения ограничен одним-двумя часами сразу после захода или до восхода солнца. В то же время наблюдения объектов на 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.

26. Космическое командование Соединенных Штатов применяет телескопы с апертурой 1 м, снабженные усовершенствованными видеоконвыми детекторами 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 приборах с зарядовой связью (ПЗС), что позволит улучшить их КПД. РККА использует аналогичный телескоп для ведения своего каталога орбит объектов, находящихся на ВОО.

27. Как правило, в каталогах по геостационарной орбите (ГСО) Космического командования Соединенных Штатов и России регистрируются неповрежденные 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 градусов наблюдается множество незарегистрированных объектов, которые образовались, возможно, в результате разрушений разгонных блоков ракеты-носителя "Ариан". В феврале 1992 года с помощью телескопа Космического командования США в Мауи на Гавайских островах случайно удалось наблюдать разрушение промежуточной ступени ракеты "Титан" (1968-081E). В районе ГСО находятся и ступени других ракет, которые еще могут взорваться. Некоторые из этих ступеней, по-видимому, потеряны и, возможно, взорвались.

28. 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 1 м 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 (когда известно его приблизительное местонахождение), однако этого недостаточно для обследования обширных участков небесной сферы.

29. Были проведены некоторые предварительные измерения для обследования района ГСО в целях обнаружения объектов космического мусора размером менее 1 м. НАСА использовало небольшой телескоп, способный обнаруживать объекты до 17.1 звездной величины (что эквивалентно приблизительно 0,6 м 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 МККМ проводит кампанию по исследованию засоренности ГСО орбитальным мусором.

30. Существующие и планируемые оптические средства наблюдения за космическим мусором приводятся в таблице 2.

Таблица 2.
Оптические средства наблюдения за космическим мусором

Страна	Организация	Апертура телескопа (м)	Сектор обзора (град.)	Тип детектора	Предельная звездная величина	Состояние системы
	ЕКА	1	1	ПЗС	19	разрабатывается
Франция	Национальный научно-исследовательский центр	0,9	0,5	ПЗС	19	разрабатывается
Япония	СУНДАИ	0,75	0,04	ПЗС	17	действующая
Япония	КРЛ	1,5	0,28	ПЗС	18,7	действующая
Российская Федерация	РАН ^a	1	0,2	ПЗС	19	действующая
Российская Федерация	РАН	0,6	0,2	ПЗС	18	действующая
Российская Федерация	РКА ^b	0,6	0,2	ТВ	19	действующая
Швейцария	Бернский университет	1	0,5	ПЗС	19,5	действующая
США	НАСА	0,3	1,5	ПЗС	17,1	действующая
США	НАСА	3	0,3	ПЗС	21,5	действующая
Соединенное Королевство Великобритании и Сев. Ирландии	Королевская гринвичская обсерватория/МО	0,4	0,6	ПЗС	18	действуют 2 телескопа: на территории Соединенного Королевства и за рубежом

^aРоссийская академия наук.

^bРоссийское космическое агентство.

1.2. Измерения в космосе

1.2.1 Возвращаемые части поверхностей и датчики соударений

31. 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 частиц 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 части поверхностей доставляются на Землю для последующего анализа только с НОО.

32. Примеры возвращенных на Землю космических аппаратов и поверхностей даются в таблице 3.

Таблица 3.
Примеры возвращенных на Землю космических аппаратов и поверхностей

Название аппарата	Орбита	Нахождение на орбите	Стабилизация	Площадь экспонированной поверхности
"Салют-4" и "Салют-6"	350 км 51,6°	1974-1979	комплексная	~ 7 м ² (датчики и кассеты)
Панель остекления STS-7 (НАСА)	295-320 км 28,5°	июнь 1983	комплексная	~ 2,5 м ²
Спутник "Солар максимум" (НАСА)	500-570 км 28,5°	февр. 1980- апр. 1984	по Солнцу	2,3 м ²
STS-52 (Канада/НАСА)	350 км 28,4°	окт. 1992	комплексная	1 м ²
LDEF (НАСА)	340-470 км 28,5°	апр. 1984- января 1990	гравитационная	151 м ²
EUREKA (ЕКА)	520 км 28,5°	июль 1992- июнь 1993	по Солнцу	35 м ² (косм.аппарат) плюс 96 м ² (панель солн. батарей)
Панель солнечных батарей КТХ (НАСА/ЕКА)	610 км 28,5°	май 1990- дек. 1993	по Солнцу	62 м ²
"Мир"/ЕВРОМИР-95 (РКА/ЕКА)	390 км 51,6°	окт. 1995- февр. 1996	гравитационная	20 x 30 см (кассета)
"Мир"	390 км, 51,6°	1986-1998	комплексная	~ 15 м ² (кассеты и др. элементы)
"Мир" (Канада/Украина)	390 км 51,6°	нояб. 1997- февр. 1999	комплексная	1 м ²
КЛА (Япония)	480 км 28,5°	март 1995- января 1996	по Солнцу (за исключением одного месяца работы ИК-телескопа)	50 м ²
Орбитальная ступень МТКК (НАСА)	300-600 км 28,5°-51,6°	1992-н. в.	комплексная	100 м ²

33. 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 - техногенным мусором. 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. Поэтому во многих случаях не удается точно установить

происхождение соударяющейся частицы. В целях установления взаимосвязи между размером следа от удара и размером частицы проводились наземные калибровочные испытания (исследование высокоскоростных соударений) с различными материалами.

34. На основе статистических данных о столкновениях и результатов калибровочных экспериментов поток метеорных тел и космического мусора можно определить как функцию размера частиц. Одним из важных вопросов, требующих изучения, является вопрос о вторичных соударениях. Без должного учета этих соударений полученные значения потока будут завышенными.

35. На платформе для длительного экспонирования LDEF было отмечено 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.

36. Самая крупная вмятина на европейском возвращаемом модуле EURECA имела диаметр 6,4 мм. Из возвращенных на Землю поверхностей 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 EURECA, о чем свидетельствуют вмятины размером более 200-300 микрон.

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

38. 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 фракции частиц размером менее 1 мм получена лишь по высотам до 600 км. Отсутствует, в частности, информация по участкам НОО с наиболее высокой засоренностью (на высотах примерно 800-1 000 км), а также по геостационарной орбите. В 1996 году датчик частиц мусора и пыли ЕКА был выведен на геостационарную орбиту на российском КА "Экспресс-2". В 1999 году КНЕС установит активные и пассивные датчики на борту станции "Мир". Такие же датчики КНЕС планирует использовать на геостационарной орбите на борту французского спутника STENTOR (1999 год) и на гелиосинхронной орбите на борту израильского спутника (1999 год).

39. С 1971 года регулярно проводились измерения субмиллиметровых метеорных тел и частиц мусора на космических кораблях "Салют-1, 2, 3, 4, 6, 7" и станции "Мир". Измерения проводились с помощью емкостных датчиков с общей площадью экспонированной поверхности около 3 м² и с помощью возвращаемых сменных кассет с площадью экспонированной поверхности около 0,1 м² каждая. В январе 1998 года восемь секций панели солнечных батарей станции "Мир" с общей площадью поверхности около 10 м² и временем пребывания в открытом космосе около 10 лет были возвращены на борту "Спейс шаттла" на Землю для дальнейших исследований.

1.2.2 Измерения мусора из космоса

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

41. ИК-астрономический спутник IRAS для наблюдения звездного неба в диапазоне волн 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 (СРОН), 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.

42. В 1996 году Соединенные Штаты осуществили запуск космического аппарата MSX на орбиту высотой 900 км. Установленная на нем аппаратура, работающая в видимом и ИК-диапазонах, используется для наблюдения мелких частиц мусора в прилегающем пространстве.

43. В сентябре 1996 года на ГСО над точкой 80 град. в.д. был размещен российский телекоммуникационный спутник "Экспресс-12", на котором установлен ионизационный датчик соударений GORID (датчик соударений на геостационарной орбите), измеряющий фракцию метеорных тел и космического мусора размером менее 1 мм.

44. Для измерения на более регулярной основе засоренности различных орбит малоразмерными твердыми частицами в настоящее время разрабатывается недорогостоящий стандартный датчик прямого действия DEBIE, который планируется впервые вывести на полярную орбиту на борту небольшого технологического спутника PROBA EKA.

1.3 Резюме измерений

45. На схеме I представлена подборка результатов, полученных с помощью многих измерительных систем, которые описаны в предыдущих разделах. На этой схеме показано сечение потока (число объектов в год на кв.м) по объектам, имеющим определенный минимальный размер, и более крупным объектам. На схеме обобщены результаты измерений на НОО на высоте приблизительно 500 км.

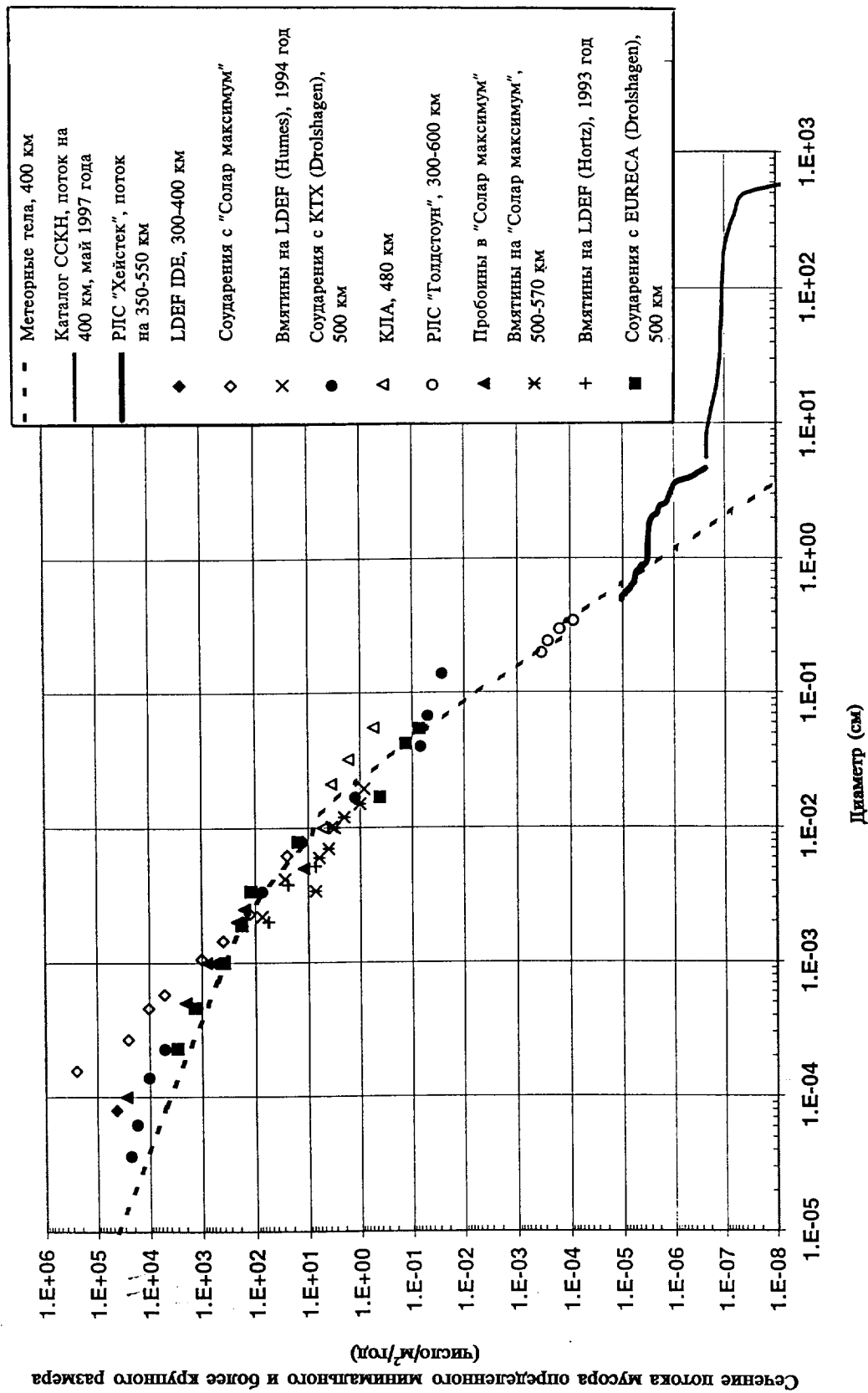
1.4 Создание каталогов и баз данных

46. Каталог представляет собой запись полученных с помощью измерений или отслеживания параметров засоренности орбит. (Для целей данного доклада термин каталог включает в себя совокупность параметров орбит.) Цели каталога состоят в том, чтобы предоставлять нынешние параметры орбиты, на основе которых можно прогнозировать движение по орбите, и обеспечивать корреляцию с данными наблюдений орбитальных объектов; обеспечивать 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.

47. Могут регистрироваться следующие характеристики орбитальных объектов:

- a) регулярно обновляемые векторы положения - параметры орбиты объекта, получаемые в определенный момент времени и используемые для расчета развития орбиты;
- b) масса - стартовая масса, исходная орбитальная масса и сухая масса (по окончании срока эксплуатации);
- c) эффективная площадь отражения - характерные радиолокационные признаки орбитального объекта, по которым можно определить форму, ориентацию и размеры (эффективная площадь отражения зависит от длины волны радиолокационного излучения, поэтому должна регистрироваться также длина волны, на которой производилось измерение);
- d) альbedo - коэффициент диффузного отражения объекта, который характеризует оптическую видимость объекта;
- e) размеры;
- f) ориентация;

Схема I.
Приблизительные измерения потока мусора на НОО по размерам объектов



g) 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;

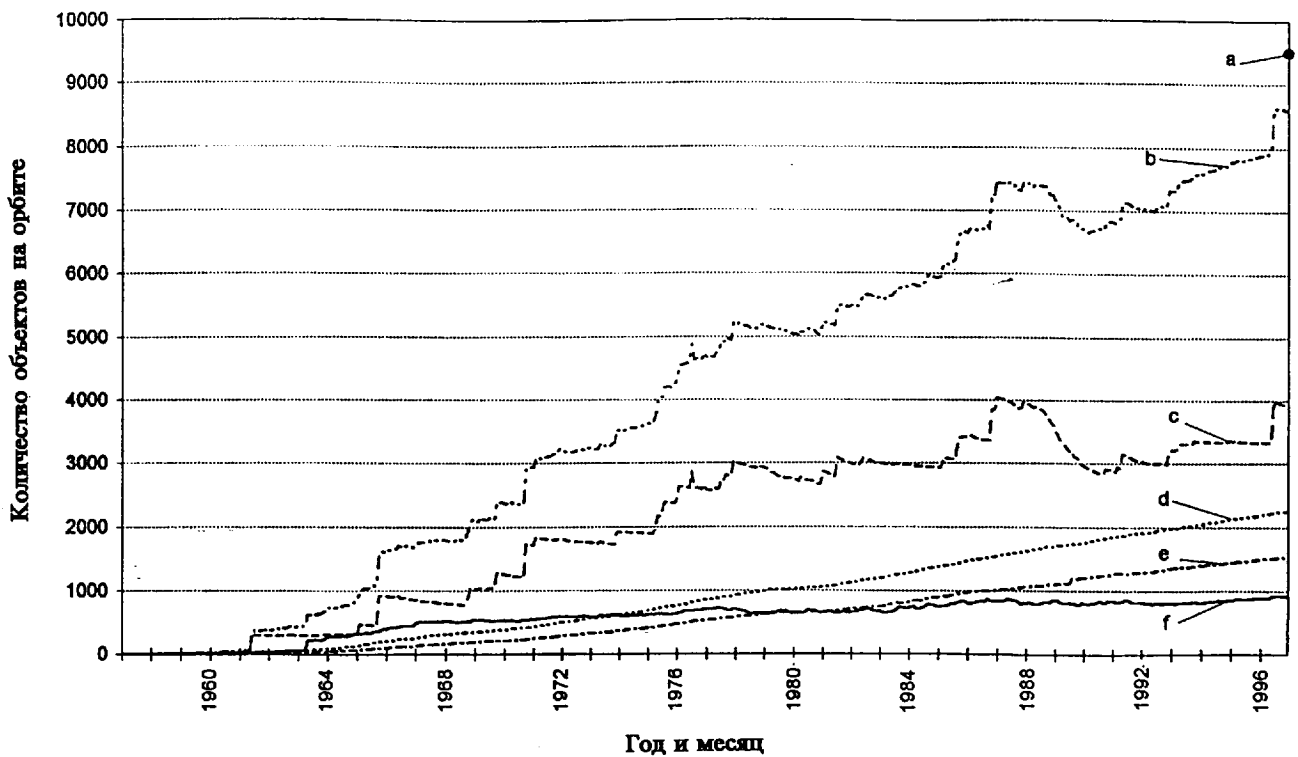
h) состав материала - хотя в настоящее время не имеет особого значения, для эффективного анализа вихревого следа микрочастиц мусора необходимо будет определять характеристики поверхности;

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

48. В настоящее время существуют два каталога космических объектов, которые постоянно обновляются на основе результатов наблюдений: каталог Космического командования Соединенных Штатов и каталог космических объектов Российской Федерации. Данные хранятся также в Базе данных и информационной системе по объектам в космическом пространстве (DISCOS) ЕКА, созданной на основе двух вышеуказанных каталогов. На схеме II показано увеличение со временем числа объектов в каталоге Соединенных Штатов Америки (включены лишь объекты крупнее 10-30 см).

Схема II.

Количество объектов в каталоге Соединенных Штатов с разбивкой по типу, 1959-1996 годы



- а: Общее количество объектов, в том числе не включенных в официальный каталог
- б: Общее количество объектов согласно официальному каталогу
- в: Мусор, образовавшийся в результате фрагментации объектов; учет фрагментов ведется с года, когда произошло событие; объекты до даты фрагментации считаются целыми, а затем учитываются как фрагменты
- г: Космические аппараты
- д: Корпуса ракет
- е: Корпуса ракет
- ф: Операционный мусор; учет образующихся при запусках операционных фрагментов ведется с года запуска; учет операционного мусора, связанного с КА "Салют"-4, 5, 6 и 7 и станцией "Мир", ведется не с даты запуска, а с более реалистичной даты

49. 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.

50. 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.

51. Каталогные данные могут храниться с помощью целого ряда носителей информации. Формат печатной (бумажной) копии не совсем пригоден для отражения динамики орбитальных объектов. Электронный формат лучше подходит для записи такой информации, изменения или обновления характеристик, работы с данными в целях сопоставления и отбора вводимых элементов при моделировании, а также для обеспечения сетевого доступа пользователям в целях поиска существующей и добавления новой информации.

52. В современных каталогах содержится информация о спутниках и фрагментах космического мусора размером 10-30 см в диаметре. Некоторые из осуществляемых в последнее время в Соединенных Штатах мероприятий направлены на совершенствование американского каталога на основе повышения чувствительности, позволяющей обнаруживать объекты размером 5 см на высотах менее 600 км. Некоторые исследования предусматривают усовершенствования, позволяющие обнаруживать объекты размером более 1 см. Однако маловероятно, что в ближайшем будущем в каталоги удастся включить объекты размером менее 5 см. Поэтому применительно к менее крупным объектам специалисты по моделированию должны по-прежнему использовать статистические измерения (см. схемы III и IV).

Схема III.

Данные по диапазону диаметров фрагментов мусора и периоду экспонирования:
данные исследований в космосе, 1980-1998 годы

- A: "Солар максимум"
- B: LDEF
- C: EURECA
- D: КЛА
- E: Панель солнечных батарей КТХ
- F: Панели остекления STS
- G: Поверхности STS

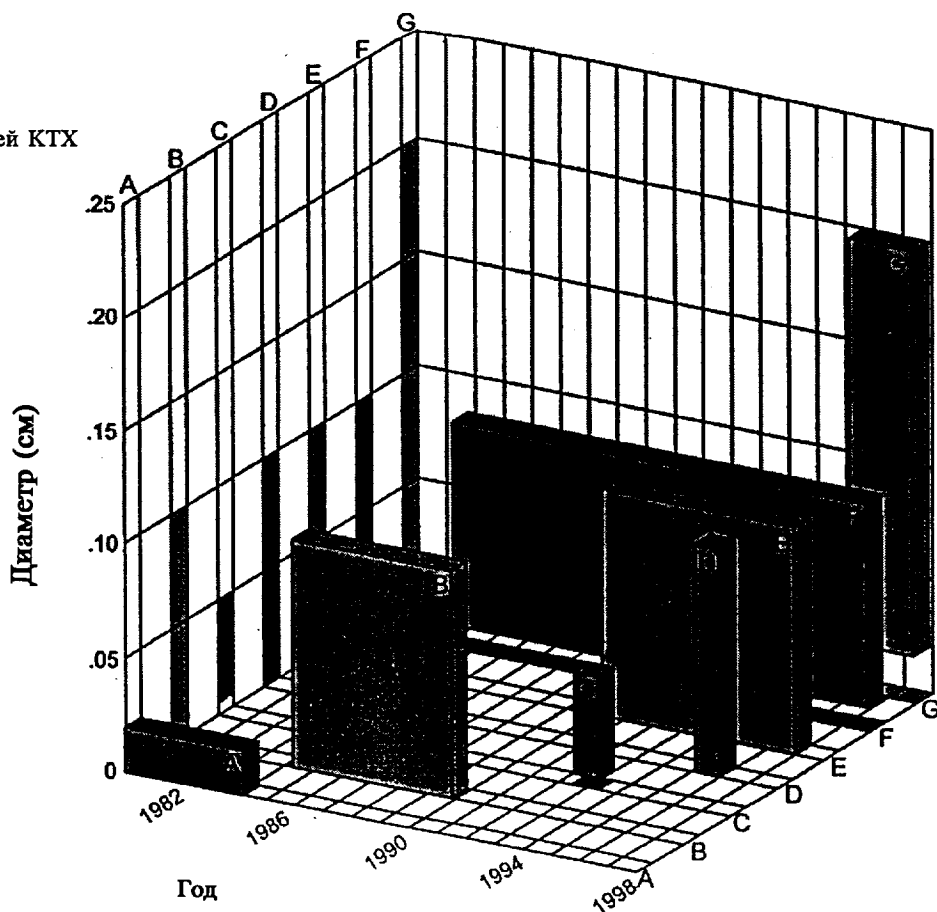
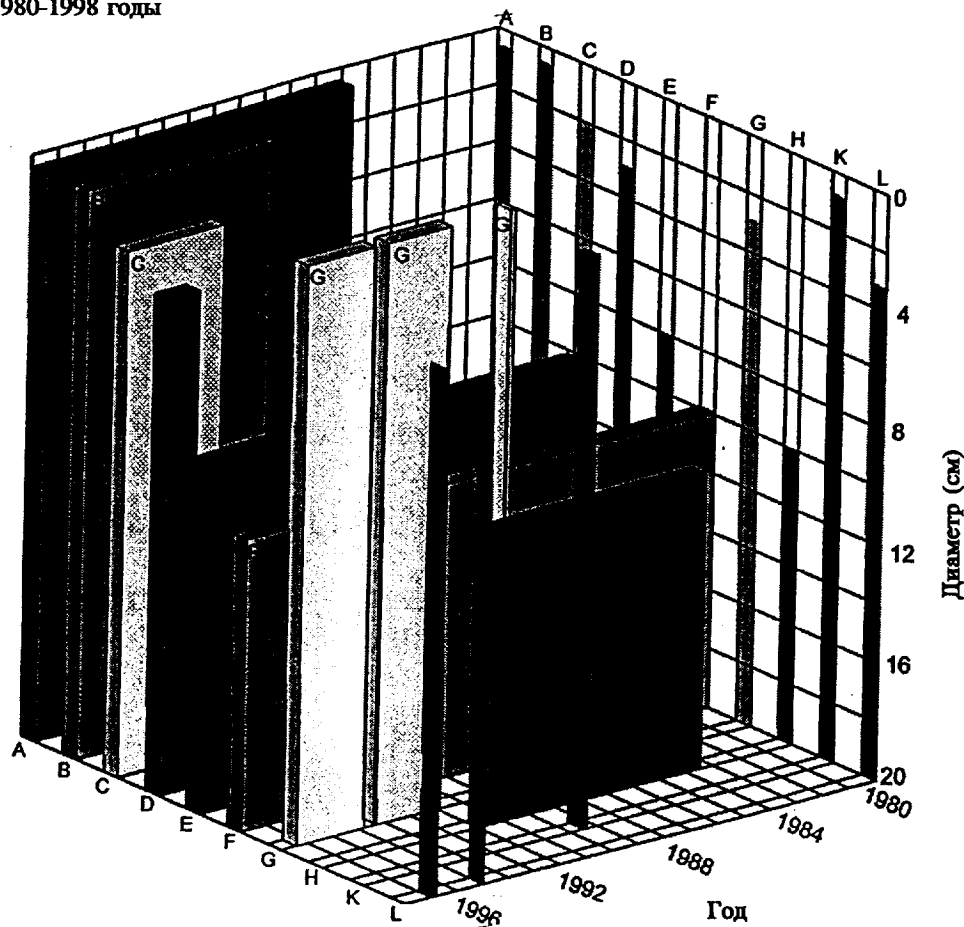


Схема IV.

Данные по диапазону диаметров фрагментов мусора и периоду экспонирования: данные наземных исследований, 1980-1998 годы

- A: Исследование фотоснимков станции "Мир"
- B: "Хейстек"
- C: "Хейстек озгилиари" (НАХ)
- D: Телескоп с жидкометаллическим зеркалом (LMT)
- E: Телескоп с ПЗС для наблюдения за космическим мусором (CDT)
- F: Сеть станций космических наблюдений (ССКН) (США)
- G: "Голдстоун"
- H: Наземная электрооптическая система наблюдения за дальним космосом (GEODSS)
- K: "Аресибо"
- L: Центр прикладных научных исследований (ФГАН) (Германия)



1.5 Воздействие засоренности космического пространства на функционирование космических систем

53. Степень воздействия засоренности космического пространства 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.

1.5.1 Воздействие крупных объектов космического мусора на функционирование космических систем

54. К крупным объектам космического мусора, как правило, относят объекты размером свыше 10 см. Такие объекты поддаются отслеживанию, а их параметры орбиты - расчету. В ходе полетов МТКК "Шаттл" орбитальные ступени выполняли маневры уклонения, с тем чтобы исключить катастрофические столкновения с такими крупными объектами космического мусора. Уклоняющие маневры во избежание столкновения с крупными фрагментами мусора выполняли также два непилотируемых спутника: ERS-1 (европейский спутник дистанционного зондирования) в июне 1997 года и SPOT-2 (спутник наблюдения Земли) в июле 1997 года. В 1996 году было зарегистрировано первое столкновение между двумя включенными в каталог объектами: действующим спутником CERISE и обломком взорвавшейся верхней ступени РН "Ариан".

1.5.2 Воздействие малоразмерных объектов космического мусора на функционирование космических систем

55. В настоящее время малоразмерные объекты космического мусора (менее нескольких миллиметров в диаметре) причиняют повреждения действующим космическим системам. Подобные соударения, насколько известно, не оказали воздействия на результаты полетов. Причиняемый вред можно разделить на две категории. В первую категорию входят повреждения поверхности или подсистем. Во вторую категорию входит воздействие на ход операций.

1.5.2.1 Повреждения поверхности или подсистем

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

- a) повреждение панелей остекления МТКК "Шаттл";
- b) повреждение остронаправленной антенны космического телескопа Хаббла (КТХ);
- c) разрыв кабеля привязной малоразмерной неспасаемой системы-2 (SEDS-2);
- d) повреждение других подвергаемых внешнему воздействию поверхностей МТКК "Шаттл".

В случаях (a), (b) и (d) имеются четкие свидетельства повреждений частицами орбитального мусора. В случае (c) неясно, произошло ли повреждение в результате столкновения с техногенным мусором или с микрометеорными телами.

1.5.2.2 Воздействие засоренности космического пространства на пилотируемые полеты

57. Для обеспечения защиты экипажа от космического мусора во время полета приняты эксплуатационные процедуры. В случае МТКК "Шаттл" орбитальная ступень во время полета ориентируется таким образом, чтобы ее хвостовая часть была повернута в направлении вектора скорости. Такая полетная ориентация была принята в целях защиты экипажа и жизненно важных систем от повреждений вследствие столкновений с мелкими фрагментами космического мусора.

58. 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 орбитальной ступени.

1.6 Другие виды воздействия засоренности космического пространства

59. При получении широкоформатных изображений астрономы отмечают увеличение количества следов от орбитального мусора. Такие следы снижают качество наблюдений. Следы от фрагментов орбитального мусора при пересечении ими узкого фотометрического поля могут полностью обесценить результаты фотометрических наблюдений.

2. **Моделирование засоренности космического пространства и оценка опасности столкновения**

2.1 Моделирование засоренности космического пространства

2.1.1 Введение и методология

60. Модели засоренности космического пространства обеспечивают математическое описание распределения объектов в пространстве, движения и потока объектов и их физических характеристик (например, размер, масса, плотность, отражающие свойства, особенности перемещения). Эти модели могут быть детерминистскими по своему характеру (т.е. каждый объект описывается отдельно по своим параметрам орбиты и физическим

характеристикам), статистическими по виду (т.е. характеристика совокупности по выборочному числу объектов) или комбинированными (т.е. гибридными). Эти модели могут применяться для оценки опасности и ущерба, прогнозирования масштабов обнаружения мусора наземными средствами наблюдения, прогнозирования маневров уклонения эксплуатируемых КА и перспективного анализа эффективности мер по снижению засоренности.

61. Модели засоренности должны учитывать рост числа орбитальных объектов вследствие следующих процессов:

- a) запуски (включая верхние ступени ракет-носителей, полезные нагрузки и связанные с программами полетов объекты);
- b) маневрирование (связанное с включением ракетных двигателей твердого топлива);
- c) разрушения (в результате взрывов и столкновений);
- d) отделение материалов от поверхностей (эффекты старения, например, осыпание краски);
- e) отделение материалов в результате утечки (например, теплоноситель ядерных энергетических установок (ЯЭУ)).

62. Необходимо также учитывать следующие механизмы схода с орбиты:

- a) вырождение орбиты в результате сопротивления атмосферы или других воздействий;
- b) снятие с орбиты;
- c) отработка тормозного импульса;
- d) фрагментация (ведет к потере крупных объектов).

Модель засоренности должна содержать все или некоторые из этих элементов.

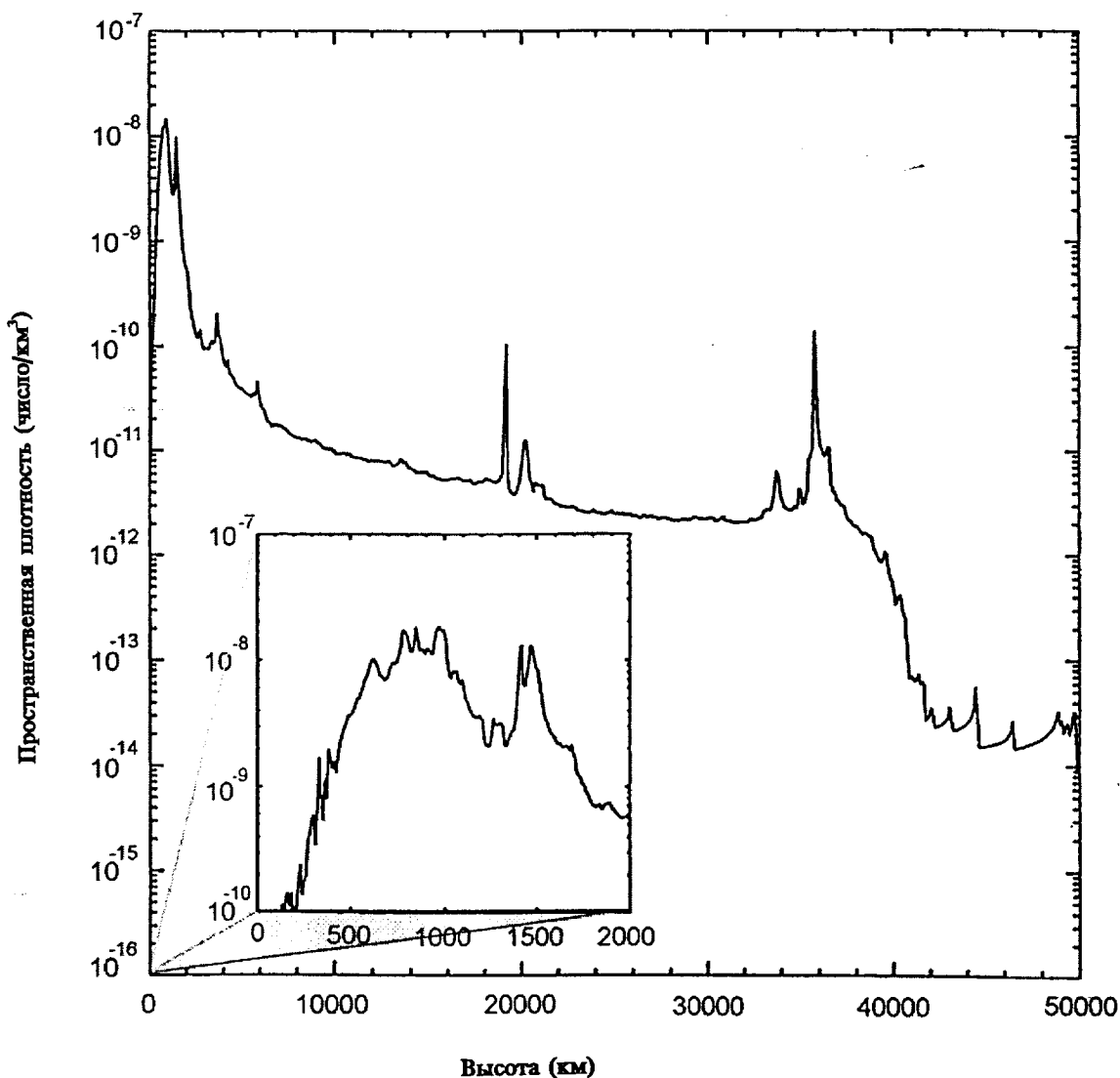
63. В моделях засоренности космического пространства используются все имеющиеся источники данных. К ним относятся:

- a) детерминированные данные о дециметровых и более крупных объектах, включенных в спутниковый каталог Космического командования Соединенных Штатов Америки и Российский каталог наблюдаемых космических объектов (соответствующее распределение пространственной плотности см. в схеме V);
- b) статистические данные о сантиметровых частицах, полученные с помощью целенаправленных радиолокационных наблюдений на НОО;
- c) статистические данные о столкновениях с субмиллиметровой фракцией космического мусора на основе анализа доставленных с орбиты поверхностей и данных датчиков соударений прямого действия;
- d) статистические данные о дециметровых и более крупных объектах на НОО, полученные с помощью наземных телескопов;
- e) наземное моделирование условий высокоскоростных соударений с корпусами спутников и ракет; и
- f) наземное моделирование образования фрагментов в результате взрыва.

64. Эти модели имеют ограниченные возможности в силу недостаточного объема имеющихся данных, с помощью которых можно было бы подтвердить правильность установленных связей. Эти модели должны основываться на зарегистрированных данных о характеристиках спутников, запусках и разрушениях на орбите; кроме того, имеются лишь ограниченные данные о реагировании материалов КА на соударение и взаимодействие с орбитальной средой. Кроме того, в рамках применения этих моделей для прогнозирования будущей обстановки необходимы веские предположения. В частности, сценарии будущих космических полетов и принятие мер по снижению засорения будут серьезно влиять на результаты вероятностного моделирования. Модели засоренности космического пространства необходимо постоянно обновлять и выверять в целях отражения более подробных и обширных массивов данных наблюдений и экспериментов.

Схема V.

Пространственная плотность каталогизированных объектов (по состоянию на 21 августа 1997 года)



65. Модели засоренности могут иметь две формы: дискретные модели, которые представляют "осколочную" обстановку в детальном формате, либо инженерные модели аппроксимации. Кроме того, эти модели по своему характеру могут быть краткосрочными (учитывающими временные периоды до десяти лет) или долгосрочными (учитывающими временные периоды свыше десяти лет). При составлении всех этих моделей первоначальный ансамбль фрагментов космического мусора представляется на определенном исходном рубеже и затем поэтапно распространяется со временем, при этом учитываются механизмы образования и схода фрагментов мусора и соответствующие возмущения на орбитах. Ни краткосрочные, ни долгосрочные модели не учитывают периодически происходящей концентрации мусора, которая после разрушений сохраняется от нескольких часов до нескольких месяцев; для оценки опасности для конкретных космических систем иногда используются "очень краткосрочные" модели, которые не включены в представленный ниже перечень.

66. Соответствующие характеристики моделей сопоставляются в таблице 4.

Таблица 4.
Модели засоренности

Название модели	Разработчик	Срок прогнозирования	Наличие инженерной модели	Минимальный размер	Орбитальный режим
CHAIN	НАСА	Долгосрочный	Нет	1 см	НОО
CHAINEE	ЕКА	Долгосрочный	Нет	1 см	НОО
EVOLVE	НАСА	Краткосрочный и долгосрочный	Нет	1 мм	НОО
IDES	ДРА	Краткосрочный и долгосрочный	Нет	0,01 мм	НОО
LUCA	ТУБС	Долгосрочный	Нет	1 мм	НОО/ГСО
MASTER	ЕКА	Краткосрочный	Да	0,1 мм	НОО/ГСО
Назаренко	РКА	Краткосрочный и долгосрочный	Нет	0,6 мм	НОО
ORDEM-96	НАСА	Краткосрочный	Да	1 мкм	НОО
SDM/STAT	ЕКА/ CNUCE	Краткосрочный и долгосрочный	Нет		НОО/ГСО

2.1.2. Краткосрочные модели

67. Научно-техническими специалистами разработаны следующие краткосрочные модели:

а) модель EVOLVE была разработана Космическим центром им. Джонсона НАСА в целях как краткосрочного, так и долгосрочного прогнозирования засоренности НОО на основе использования широких источников данных, подробных моделей космических полетов и квазидетерминистских методик расчета распространения фрагментов космического мусора, применимых к моделированию условий как на НОО, так и на ГСО;

б) модель ORDEM-96 представляет собой полуэмпирическую инженерную модель, разработанную Космическим центром им. Джонсона НАСА. Она основывается на обширных данных дистанционных наблюдений и наблюдений в космосе и применяется при решении вопросов разработки и эксплуатации МТКК "Спейс шаттл" Соединенных Штатов Америки и Международной космической станции;

в) модель MASTER представляет собой полудетерминистскую модель засоренности, разработанную ЕКА, в основе которой лежит трехмерная дискретизация пространственной плотности и переходных скоростей. Эта модель может применяться для орбит в диапазоне от НОО до ГСО и позволяет получать краткосрочные оценки засоренности. Менее подробная версия MASTER существует в инженерном формате. Обе модели были разработаны Брауншвейгским техническим университетом (ТУБС) по контракту с ЕКА;

г) модель IDES представляет собой полудетерминистскую модель засоренности, которая использует подробные данные о прежних и перспективных моделях космических полетов для краткосрочного и долгосрочного прогнозирования эволюции орбитального мусора и вероятности столкновения с ним для конкретных спутников. Эта модель была разработана Управлением оборонных исследований и анализа (ДЕРА) в Фарнборо, Соединенное Королевство;

е) модель Назаренко, разработанная Центром программных исследований (ЦПИ) РКА, представляет собой полуаналитическую стохастическую модель для составления как краткосрочных, так и долгосрочных прогнозов засоренности НОО, позволяющую рассчитывать пространственную плотность, распределение скоростей

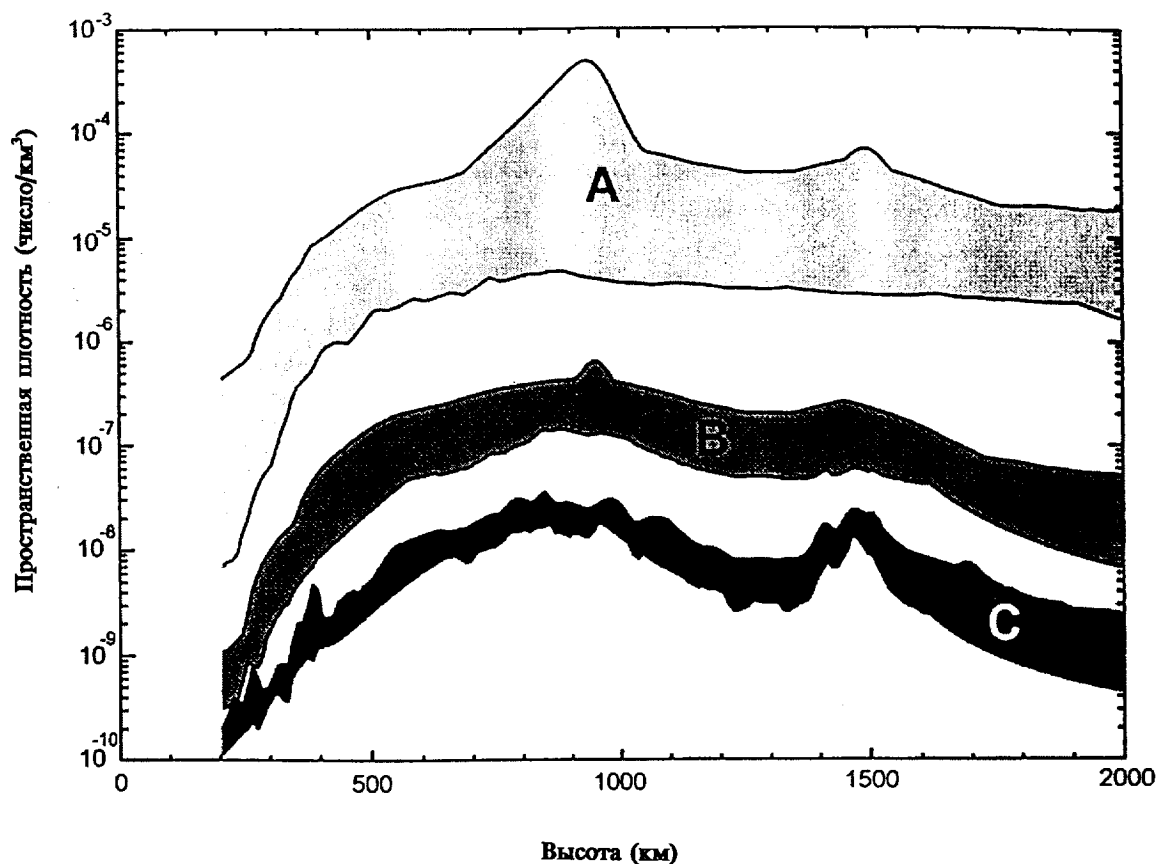
и потоки частиц. Модель усредненно учитывает источники загрязнения (кроме каскадного эффекта) и торможение в атмосфере; она настроена по данным российского и американского каталогов и опубликованным измерениям более мелких фрагментов (размером более 1 мм), а также с учетом априорной информации;

f) модель **SDM** представляет собой полудетерминистскую модель для составления как краткосрочных, так и долгосрочных прогнозов засоренности орбиты. В этой программе, разработанной в CNUCE, используется подробная модель движения космических аппаратов в космосе, включая спутниковые группировки, и учитывается ряд исходных моделей возможных взрывов, столкновений и утечки охладителя из RORSAT. Модель SDM была разработана по контрактам с ЕКА и АСИ.

68. Эти модели могут использоваться для "прогнозирования" существующей "осколочной" обстановки. Для выработки "границ решения" применительно к существующей засоренности были использованы несколько различных моделей, что отражено на схеме VI.

Схема VI.

Основанные на моделях значения существующей пространственной плотности



A: ≥ 1 мм
B: ≥ 2 см
C: ≥ 10 см

Источники: НАСА (ORDEM-96);
ДЕРА (IDES);
ЕКА (MASTER);
CNUCE (SDM);
и РКА (Назаренко).

2.1.3. Долгосрочные модели

69. Целью долгосрочного моделирования засоренности околоземного пространства является составление долгосрочных (до 100 лет) прогнозов количества объектов как функции времени, высоты, снижения и размера объекта. Эти прогнозы играют важную роль в оценке необходимости применения мер по снижению засоренности и эффективности таких мер, а также влияния новой космической деятельности.

70. Помимо источников космического мусора, которые принимаются во внимание при моделировании нынешней засоренности космического пространства, необходимо учитывать столкновения между более крупными объектами (> 10 см). В настоящее время столкновения между более крупными объектами не играют значительной роли в увеличении количества объектов, поскольку вероятность таких столкновений низка. Однако в будущем интерактивная опасность так называемых "разрушительных столкновений", т.е. столкновений, при которых происходит образование более крупных фрагментов, может возрасти. Этот так называемый "риск интерактивных столкновений" в ансамбле всех космических объектов пропорционален квадрату количества объектов. Поэтому в перспективе долгосрочные меры по снижению засоренности должны предусматривать удаление массы и площади сечения с орбиты.

71. В целях оценки последствий столкновений между более крупными объектами необходимо наличие надежных моделей распадов применительно к столкновениям такого вида. Однако моделирование орбитальных столкновений без экспериментальных данных для целей подтверждения справедливости расчетов весьма затруднительно. Поэтому имитация столкновений вносит некоторую степень неопределенности в составляемые модели.

72. Помимо моделей нынешней засоренности космического пространства для долгосрочного моделирования необходимы определенные предположения относительно будущей программы космических полетов, в том числе относительно механизмов образования мусора, применительно, например, к

- a) будущему количеству запусков и соответствующим орбитам;
- b) будущему количеству и размеру полезных грузов в расчете на каждый запуск;
- c) будущему количеству объектов, связанных с полетами (обтекатели, болты и т.д.);
- d) будущему количеству взрывов КА и верхних ступеней;
- e) новым видам использования космического пространства (например, группировки коммерческих коммуникационных спутников на НОО).

73. Все эти параметры подвержены временным изменениям под воздействием научно-технических, финансовых и политических факторов. Таким образом, некоторые элементы неопределенности добавляются к тем элементам неопределенности, которые уже обусловлены самой математической моделью (модели разрушений и т.д.).

74. Для целей долгосрочного моделирования засоренности космического пространства был разработан ряд моделей. Они могут быть кратко описаны следующим образом:

- a) CHAIN и CHAINED: модель CHAIN была разработана в Брауншвейгском техническом университете на основе контракта. С 1993 года эту математическую модель применяет и совершенствует НАСА. Европейским вариантом CHAIN является модель CHAINED, которой пользуется ЕКА и которая представляет собой аналитическую модель "ящик с частицей" и характеризует движение ансамбля космических объектов и осколков на орбитах высотой до 2 000 км с использованием четырех участков пространства по высоте на НОО и пяти различных классов массы. CHAIN и CHAINED представляют собой супербыстродействующие компьютерные программы. Они позволяют выявлять наличие относительных тенденций, ассоциированных с конкретными мерами по снижению засоренности. Степень разрешения CHAIN имеет ограниченный предел вследствие использования разбивки на участки пространства;

b) EVOLVE: разработанная НАСА математическая модель EVOLVE представляет собой полудетерминистскую модель, т.е. фрагменты мусора описываются индивидуально с помощью множества параметров. Помимо того, что эта модель позволяет моделировать существующую на сегодняшний день "осколочную" обстановку, ее можно использовать для изучения будущих эволюционных характеристик засоренности с учетом различных мер по снижению засорения на основе использования метода Монте-Карло. С этой целью используются данные моделирования космических полетов;

c) IDES: Модель IDES была разработана Космическим отделом ДЕРА. Для расчета существующей "осколочной" обстановки осуществляется моделирование и развитие априорных данных о таких источниках засорения, как запуски, разрушения и отслаивание краски. Рассчитанные таким образом начальные условия наряду с подробными данными о моделях космических полетов используются для моделирования эволюции засоренности космического пространства в будущем. IDES может использоваться для изучения взаимодействия множества спутниковых группировок на НОО в плане возможности столкновения и для оценки эффективности мер по снижению засоренности;

d) LUCA: для проведения подробных анализов будущих сценариев, особенно в случае, когда требуется высокая степень разрешения по высоте и наклонению орбиты, в Брауншвейгском техническом университете была разработана полудетерминистская компьютерная программа LUCA. Эта программа сочетает в себе преимущества высокой степени пространственного разрешения и приемлемую потребность в компьютерном времени. Для вычисления степени опасности столкновения в зависимости от временной составляющей был разработан специальный механизм. Этот механизм фиксирует повышенную опасность столкновений на орбитах с большим углом наклона (т.е. вблизи полярных районов);

e) SDM/STAT: В полудетерминистской модели (SDM) и в стохастическом подходе (STAT) используются одинаковая начальная засоренность, рассчитанная на основе компьютерной модели, и одинаковые предположения относительно источников образования и схода космического мусора, включая столкновения. В модели SDM орбиты представительного подмножества ансамбля космических объектов используются для составления карт эволюции засоренности со временем; с помощью параметрических исследований можно проанализировать влияние политики в отношении космических запусков и мер по снижению засорения на эволюцию засоренности. Альтернативой модели SDM является программа STAT, в которой используется эффективный с точки зрения затрат машинного времени принцип "ящик с частицей". В основу этой программы положена система спаренных дифференциальных уравнений, характеризующих засоренность 80 000 пространственных секторов с распределением по массе, главной полуоси и эксцентриситету. Эти две программы сопоставимы и дают сходные результаты;

f) двухмерный "ящик с частицей": две модели, позволяющие производить расчет в отношении группировок на НОО;

g) Назаренко: модель Назаренко, которая была разработана ЦПИ (Российская Федерация), представляет собой полуаналитическую, стохастическую модель для краткосрочного и долгосрочного прогнозирования засоренности НОО, позволяющую рассчитывать пространственную плотность, распределение скоростей и опасность столкновений. Эта модель настроена по данным российского и американского каталогов и опубликованным измерениям более мелких фрагментов (размером >1 мм). Используемые в этой модели начальные данные о засоренности основаны на данных спутниковых каталогов и усредненных данных об источнике засорения, в основу характеристик которого положен анализ априорной информации о засорении космоса. Составление прогнозов основано на интегрировании дифференциальных уравнений с частными производными, характеризующих высотное распределение космического мусора. При расчете эволюции орбиты учитываются сопротивление атмосферы, распределение баллистических коэффициентов и эксцентриситет орбиты.

75. Если суммировать основные выводы исследований с помощью вышеуказанных долгосрочных моделей засоренности, то можно отметить следующее:

- а) если космические полеты будут осуществляться так же, как в прошлом, то в будущем может произойти ускоренное засорение космического пространства. Это произойдет вследствие увеличения числа столкновений между более крупными объектами;
- б) в настоящее время, в зависимости от размера, основным источником засорения являются фрагменты мусора, образующиеся после взрывов. Через какое-то время такие фрагменты могут стать доминирующими в ансамбле космических объектов;
- в) начало второго этапа такого развития событий может повлечь за собой так называемый эффект лавины столкновений. Это означает, что в результате появления осколков от столкновений число последующих столкновений будет возрастать. В этот период увеличение засоренности будет происходить в геометрической прогрессии;
- г) благодаря предупреждению взрывов можно снизить засоренность орбиты, но нельзя предотвратить проявление эффекта лавины столкновений, который определяется общей массой объектов на орбите и количеством крупных объектов;
- д) избежать проявления каскадного эффекта можно лишь путем ограничения накопления массы на НОО;
- е) возможно, что на каком-то этапе в будущем станут доминировать фрагменты, образованные в результате столкновений. Без создания определенной технологии будет практически невозможно остановить засорение; поэтому прежде, чем это произойдет, необходимо принять меры по снижению засорения.

76. Результаты долгосрочных моделей засоренности количественно не согласуются ввиду различий в предположениях и начальных условиях. Вместе с тем выявленные на основе моделей принципиальные особенности и тенденции вполне согласуются качественно. Количество крупных столкновений, прогнозируемых на основе нескольких моделей (EVOLVE, CHAIN, CHAINEE и IDES), представлено на схеме VII в виде полос предсказанных значений. Что касается образования фрагментов мусора будущими источниками, то прогнозы в отношении мелких фрагментов согласуются в меньшей степени.

77. Вероятность столкновения более крупных объектов первоначально невысока. Поэтому представляется важным проведение анализа ряда отдельных экспериментов с применением метода Монте-Карло или использование метода средней величины для получения достоверных закономерностей и тенденций. В вышеупомянутых моделях этот эффект учитывается.

2.2. Оценка опасности столкновения с орбитальным мусором

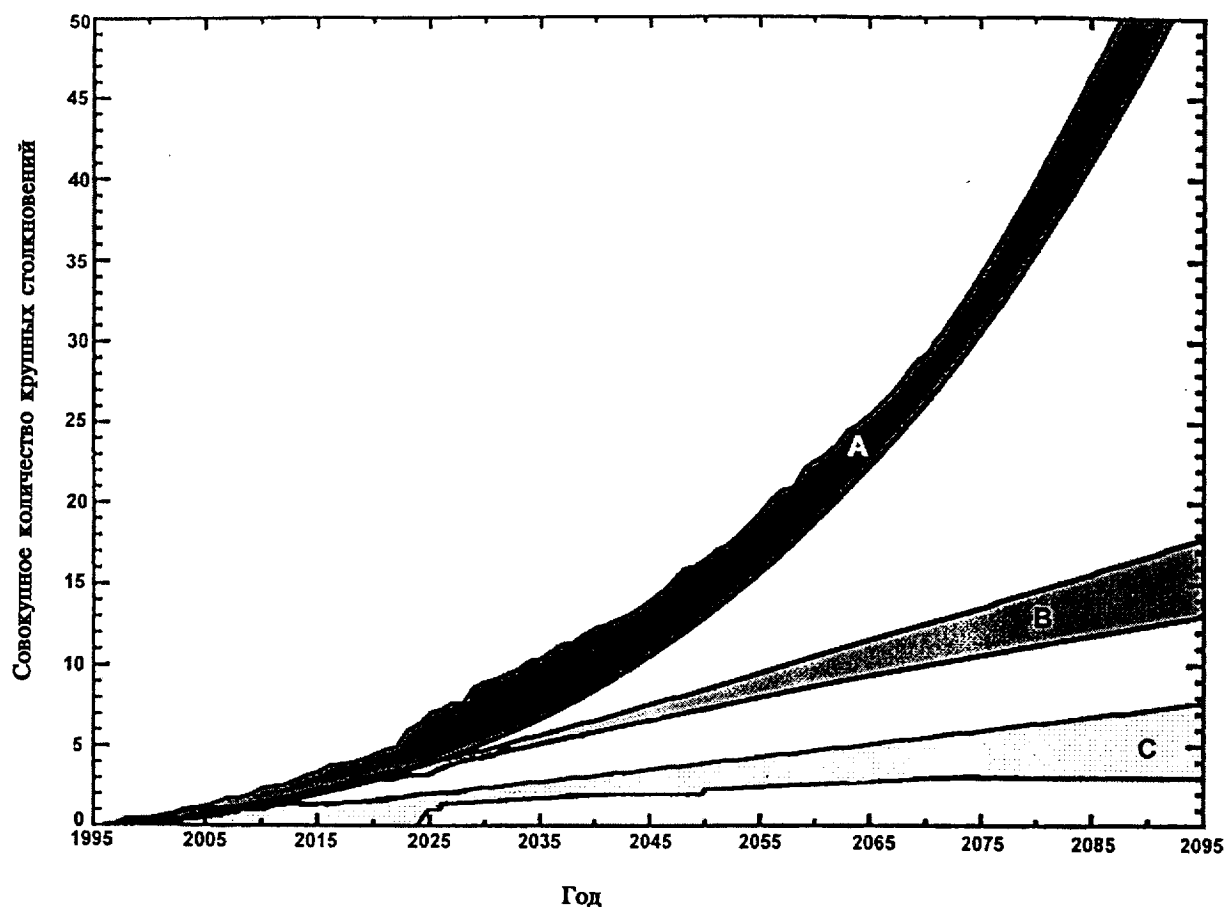
2.2.1. Введение

78. Оценка риска включает оценку вероятности наступления такого события, а также его последствий. При помощи моделей засоренности околоземного пространства может быть дана оценка опасности столкновения эксплуатируемых КА с фрагментами орбитального мусора. Находящиеся на НОО космические аппараты постоянно сталкиваются с многочисленными очень мелкими частицами (< 100 мкм), однако из-за их небольшой массы и энергии последствия, как правило, весьма незначительны. Вследствие меньшего числа крупных объектов мусора вероятность столкновения резко снижается с увеличением размера частиц мусора. Вместе с тем возрастает степень жесткости столкновений между крупными объектами.

79. Основные факторы риска определяются пространственной плотностью и средней относительной скоростью столкновений на орбите (высота и наклонение) соответствующих космических объектов, площадью поперечного сечения космического объекта и продолжительностью полета. Последствия столкновения будут зависеть от соответствующей массы и состава столкнувшихся объектов. Если опасность столкновения находящегося на орбите объекта и метеорита практически не зависит от высоты, то вероятность столкновения между орбитальными объектами в значительной степени зависит от высоты, причем на НОО такая вероятность в целом на порядок выше, чем на ГСО.

Схема VII.

Типичные области значений количества крупных столкновений для трех сценариев



A: Сохранение интенсивности запусков

B: Сохранение интенсивности запусков в течение следующих 20 лет, а затем их прекращение

C: Прекращение дальнейших запусков

2.2.2 Оценка опасности столкновения на низкой околоземной орбите

2.2.2.1 Методология

80. Оценка опасности столкновения для космических аппаратов на НОО регулярно проводится с 60-х годов. В тех случаях, когда имеет место большое число независимых событий и вероятность возникновения каждого события невелика, используется модель Пуассона. Техногенный мусор и микрометеорные тела отвечают этим критериям независимости, за исключением случаев, когда имеет место недавно произошедшее разрушение или метеорная буря.

81. Для расчета вероятности столкновений с частицами космического мусора необходимо иметь модель засоренности космического пространства метеорными телами/орбитальным мусором (М/ОМ) и располагать данными о конфигурации КА и параметрах полета. Для расчета вероятности пробивания корпуса и/или

возникновения неполадок в КА вследствие столкновения с космическим мусором требуется доскональное знание конфигурации КА, включая:

- a) геометрию жизненно важных подсистем;
- b) ударостойкость или уравнение баллистического предела каждой подсистемы;
- c) данные о допустимости повреждений каждой подсистемы.

82. Компьютерные программы позволяют на основе этой информации рассчитать:

- a) вероятность столкновений с частицами космического мусора определенного размера;
- b) вероятность повреждения какой-либо подсистемы при ударе;
- c) различия в степени ущерба, наносимого техногенным космическим мусором и микрометеорными телами.

2.2.2.2 Результаты оценки опасности столкновения

83. Оценка опасности столкновения на НОО проводится на регулярной основе в целях повышения безопасности деятельности в космосе. В случаях, связанных с пилотируемыми космическими полетами, оценка опасности столкновения с космическим мусором имеет огромное значение для обеспечения безопасного функционирования МТКК. Параметры полетов МТКК оперативно изменяются во всех случаях, когда предполетная оценка опасности столкновения указывает на ее недопустимо высокий уровень.

84. Оценка опасности столкновения используется для определения места установки и типа экранной защиты от космического мусора, которая должна защищать экипаж, а также ключевые подсистемы Международной космической станции.

85. Оценка опасности столкновения используется также при проектировании беспилотных космических аппаратов. Она помогает в проектировании и определении мест установки экранной защиты ключевых подсистем и компонентов, а также в проектировании конфигурации крупных группировок спутников связи.

Таблица 5.

Среднее время между соударениями со спутником с площадью поперечного сечения 10 кв. м

Высота круговой орбиты	Объекты 0,1-1,0 см	Объекты 1-10 см	Объекты > 10 см
	Вероятный результат столкновения		
	Возможная потеря спутника	Вероятная потеря спутника	Фрагментация спутника
500 км	10-100 лет	3 500 - 7 000 лет	150 000 лет
1 000 км	3-33 года	700 - 1 400 лет	20 000 лет
1 500 км	7-70 лет	1 000-2 000 лет	30 000 лет

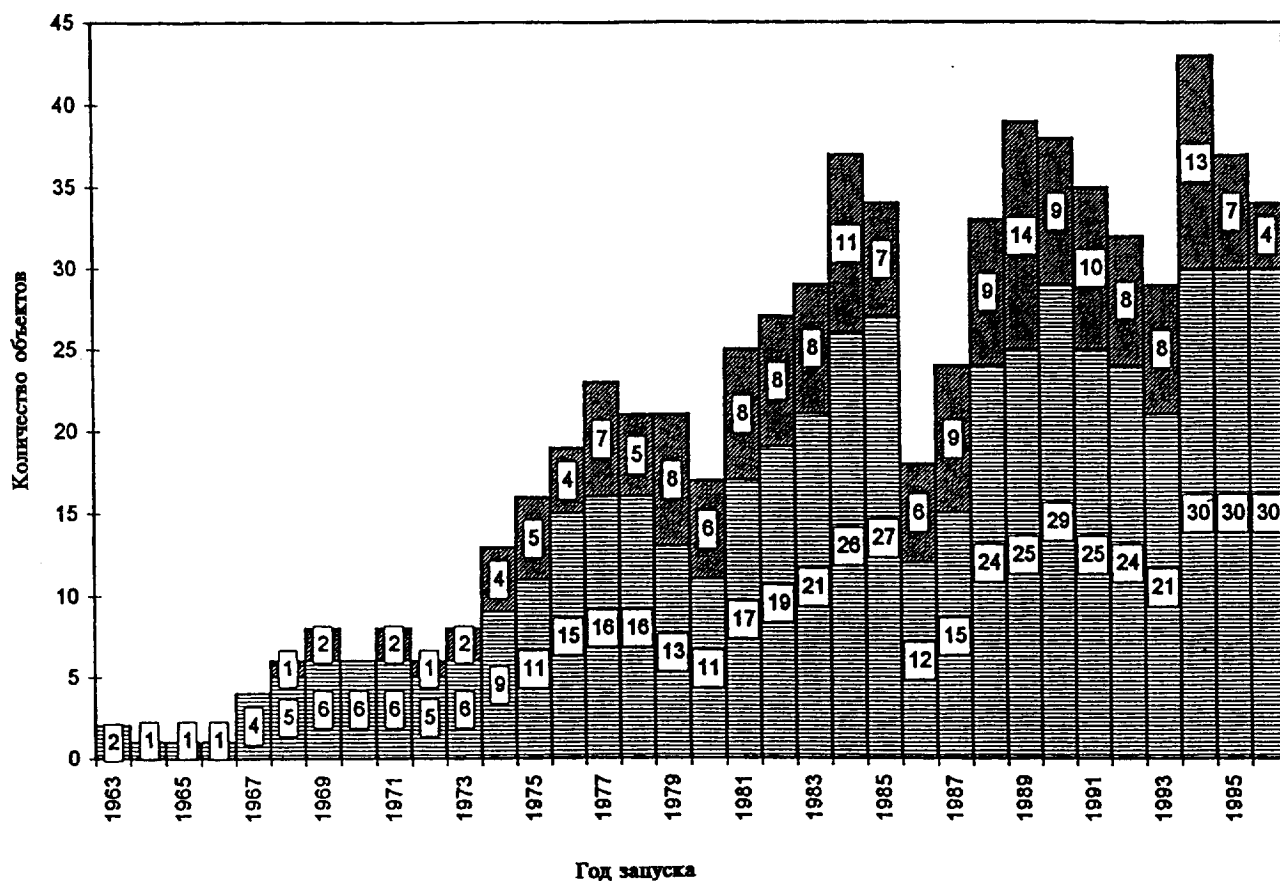
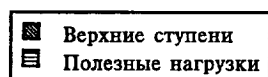
2.2.3. Оценка опасности столкновения на ГСО

86. Из общего ансамбля космических объектов, находящихся на ГСО и в непосредственной близости от нее (см. схему VIII), в настоящее время имеется достаточно точная информация лишь о числе космических аппаратов и верхних ступеней. Ввиду ограниченного числа таких объектов, их широкого пространственного распределения и более низкой средней относительной скорости (500 м/сек) вероятность столкновения на ГСО является значительно более низкой. Кроме того, ввиду того что новые космические аппараты и верхние ступени остаются

на орбитах выше или ниже ГСО, число неконтролируемых неповрежденных объектов, которые пересекают ГСО, возрастает весьма медленно. Особая вероятность столкновения на ГСО сохраняется ввиду непосредственной близости функционирующих космических аппаратов, которые находятся над точками определенной долготы, однако опасность их столкновения может быть ликвидирована с помощью процедур управления полетом космических аппаратов. Ограниченное число крупных объектов вблизи ГСО позволяет также прогнозировать сближение функционирующих космических аппаратов с прослеживаемыми фрагментами орбитального мусора заблаговременно, что позволяет уклониться от столкновения с помощью маневра.

Схема VIII.

Полезные нагрузки и верхние ступени, выведенные на геостационарную орбиту, 1963-1996 годы



87. Точное число фрагментов орбитального мусора размером менее 1 метра в диаметре вблизи ГСО не известно. Два установленных случая разрушения (один космический аппарат и одна верхняя ступень) и некоторые данные дают основания предполагать, что могут произойти разрушения других объектов. Такой мусор будет перемещаться на новые орбиты, что, возможно, ведет к сокращению его пребывания на ГСО, но при этом повышает относительную скорость соударений, что в свою очередь ведет к практически постоянному увеличению потока мусора при изменении наклона орбит. Во многих случаях будет происходить широкое рассеяние фрагментов мусора как по высоте, так и по наклону. Прежде чем появится возможность получать более точную оценку опасности столкновения, необходимо проводить дополнительные измерения орбитального мусора на ГСО. Кроме

того, возможно, потребуется разработать новые методы прогнозирования вероятности столкновений, которые учитывали бы неслучайный характер сближений объектов на ГСО.

88. Механизма естественного увода спутников с ГСО не существует. Поэтому существует риск нанесения повреждений функционирующим космическим аппаратам неконтролируемыми КА. В настоящее время расчетная величина такой ежегодной опасности столкновения функционирующего спутника составляет 10^{-5} .

2.2.4 Оценка опасности входа в атмосферу фрагментов орбитального мусора

89. В данном разделе рассматривается оценка опасности лишь применительно к неконтролируемому возвращению в атмосферу объектов с околоземной орбиты.

90. Приблизительно за 40 лет было отмечено свыше 16 000 случаев возвращения в атмосферу Земли занесенных в каталоги космических объектов. Информации о нанесении существенного ущерба или повреждений не поступало. В значительной степени это можно объяснить большой площадью поверхности океана и низкой плотностью населения во многих районах суши. На протяжении последних пяти лет приблизительно один раз в неделю происходило возвращение в атмосферу Земли объекта с площадью поперечного сечения около 1 кв.м или более, и, согласно имеющейся информации, некоторые из этих фрагментов не разрушались полностью.

91. Вхождение в атмосферу какого-либо объекта связано не только с опасностью механического удара, но и с опасностью химического или радиологического загрязнения среды. Объекты, уцелевшие в процессе аэродинамического нагрева, могут быть причиной нанесения физического ущерба. Степень такой опасности зависит от характеристик конечной орбиты, формы и физических свойств объекта.

92. Оценка опасности вхождения в атмосферу каких-либо объектов должна включать моделирование объектов, анализ высоты разрушения, определение компонентов, которые могут уцелеть при вхождении в плотные слои атмосферы и расчет общей площади поражения.

93. На международном уровне еще не достигнуто единого мнения относительно людских потерь, которые может вызвать вхождение какого-либо объекта в атмосферу. Согласно стандарту безопасности НАСА № 1740.14 под названием "Guidelines and assessment procedures for limiting orbital debris" ("Руководящие принципы и процедуры оценки мер по ограничению засоренности орбит"), вероятность людских потерь в случае каждого входа объектов в атмосферу составляет 10^{-4} .

3. Меры по уменьшению засорения и защите от космического мусора

3.1 Уменьшение засорения с течением времени

3.1.1 Предупреждение образования мусора при штатных операциях

3.1.1.1 Объекты, связанные с космическими полетами

94. Примерно 12 процентов всего каталогизированного орбитального мусора в настоящее время составляют объекты, отделяющиеся в процессе штатной процедуры запуска спутников на орбиту и их эксплуатации. Типичные объекты, подпадающие под эту категорию, включают в себя крепежные детали, грузы для компенсации рыскания и раскачки, сопловые заглушки, крышки объективов, механизмы многомодульной полезной нагрузки и т.д. Меры по уменьшению засорения такими объектами принимать, как правило, относительно легко как в техническом, так и экономическом отношении. По сообщениям, такие меры уже принимаются многими космическими агентствами. В частности, стяжные хомуты и кожухи датчиков должны оставаться на основном теле, а все фрагменты пироболтов должны удерживаться. Вместе с тем возможны некоторые детали, отделение которых неизбежно, например, конструктивный элемент, оставляемый на геостационарной переходной орбите (ГПО) при полетах с многомодульной полезной нагрузкой. Каждому агентству настоятельно предлагается во всех

случаях, когда это возможно, сводить к минимуму образование такого мусора, используя самые современные методы или оборудование.

3.1.1.2 Тросы

95. Объектами орбитального мусора могут становиться тросы, отделяющиеся после их использования или в результате столкновения с каким-либо объектом (техногенным мусором или метеорным телом). Тросы длиной несколько тысяч метров и диаметром несколько миллиметров могут не выдерживать длительного срока эксплуатации. Снижению опасности разрыва может способствовать применение новых многожильных тросов. По завершении полета может предусматриваться либо втягивание троса, чтобы снизить возможность столкновения с другими объектами, либо высвобождение обеих конечных масс, чтобы ускорить сход троса с орбиты.

3.1.1.3 Выбросы твердотопливных ракетных двигателей, краска и другие внешние материалы

96. В ходе осуществления программы полета может происходить непреднамеренное образование и других частиц мусора: например, во время и после включения твердотопливных ракетных двигателей происходит выброс частиц шлака (размером до нескольких сантиметров в диаметре). Точный объем и распределение этих выбросов шлака неизвестны, а совершенствование твердого ракетного топлива и изоляции двигателей в целях сведения к минимуму выброса твердых частиц является довольно сложной задачей. Следует принять меры для сдерживания процесса образования очень мелких частиц мусора, связанного с воздействием космической среды, например, с эрозией под воздействием атомарного кислорода, влиянием солнечного излучения и микрометеоритной бомбардировкой. Одной из эффективных мер является использование более износостойкой краски и защитных покрытий.

3.1.2 Предупреждение разрушений на орбите

97. Осколки, образовавшиеся в результате разрушения верхних ступеней и космических аппаратов, составляют приблизительно 43 процента известной на сегодняшний день совокупности орбитальных объектов и, возможно, порядка 85 процентов всего орбитального мусора размером более 5 см в диаметре. Согласно имеющейся информации, по состоянию на 1 сентября 1998 года на околоземной орбите произошло в общей сложности не менее 153 разрушений космических объектов, общая масса которых без топлива превышает 385 000 кг. К счастью, 60 процентов каталогизированного орбитального мусора, который возник при этом, упало на Землю. Эти разрушения произошли прежде всего в результате взрывов или столкновений.

3.1.2.1 Взрывы на орбите

98. Тридцать шесть процентов всех разрушений космических объектов приходится на верхние ступени или их компоненты, которые успешно функционировали, но были брошены после вывода космического аппарата на орбиту. Такие инциденты происходили со многими ракетами-носителями Соединенных Штатов, Российской Федерации, Китая и ЕКА. Случайные взрывы могут быть также связаны с возникновением неисправностей в двигательных установках, избыточным зарядом аккумуляторных батарей или использованием разрывных зарядов. Производились также намеренные разрушения.

99. Анализ случайных разрушений космических аппаратов и верхних ступеней показал, что спуск с орбиты или пассивация, т.е. сброс всей имеющейся энергии, позволяет предотвратить большую часть таких случаев. К числу эффективных мер относится удаление оставшегося топлива путем сжигания или продувки, разрядка электрических аккумуляторных устройств, освобождение жидкостей, находящихся под давлением, терморегулирование и обезвреживание неиспользованного устройства для подрыва и разгрузка (прекращение вращения) маховиков и аналогичных устройств управления пространственным положением. Эти меры следует осуществить непосредственно после выполнения космическим аппаратом своей задачи.

3.1.2.2 Столкновения на орбите

100. Вероятность случайного столкновения на околоземной орбите в настоящее время является незначительной, однако увеличение числа и размеров спутников ведет к повышению такой вероятности. В 1996 году в результате столкновения с осколком, по данным сети мониторинга Космического командования США образовавшимся в результате взрыва верхней ступени ракеты-носителя "Ариан", была частично нарушена работоспособность французского космического аппарата CERISE. Кроме того, нельзя исключать вероятность того, что разрушения некоторых других аппаратов также были вызваны столкновениями, поскольку причины многих разрушений остаются неизвестными. К числу эффективных мер, позволяющих ослабить последствия повреждений в результате столкновений, относятся проработка конструкции космических аппаратов, выбор орбиты с низкой вероятностью столкновения и совершение маневров уклонения (см. пункты 112-118 ниже).

3.1.3 Спуск с орбиты и перевод на более высокую орбиту космических объектов

3.1.3.1 Завершение программы полета космических систем

101. По завершении программы полета космических объектов на НОО каждый из них следует либо сводить с орбиты, либо переводить на орбиту сокращенного пребывания в целях уменьшения вероятности случайных столкновений. Проведенные исследования показали, что сокращение срока пребывания космических объектов на орбите может привести к уменьшению образования орбитального мусора. Этого можно добиться с помощью контролируемого маневра по возвращению в атмосферу или перевода космического аппарата на более низкую орбиту.

102. Что касается космических объектов, расположенных на более высоких орбитах, то в обозримом будущем достаточно эффективной мерой может быть их вывод на орбиты "захоронения". Например, перевод космического аппарата, находящегося на геостационарной орбите, выше ГСО позволяет не только защитить действующие космические аппараты, но и уменьшить вероятность столкновения отработавших объектов между собой и образования мусора, который может создать угрозу для режима ГСО. Стандартную минимальную величину высоты увода следует определять с учетом таких факторов, как возмущающее воздействие силы тяготения Солнца и Луны и давление солнечного излучения. Для верхних ступеней или компонентов ракет-носителей, оставляемых на ГПО, можно предусмотреть возможность маневрирования, чтобы они не мешали системам, расположенным на ГСО. Можно выбрать такую высоту перигея верхней ступени, которая обеспечит ограниченный срок ее пребывания на орбите.

3.1.3.2 Возникновение неисправностей

103. Находящиеся на орбите космические системы должны находиться под постоянным контролем, особенно во избежание критических неисправностей, которые могут привести к образованию множества осколков или утрате возможности принятия мер защиты. В этой связи следует следить за состоянием двигательной установки, батарей и подсистемы ориентации и контроля орбиты. В случае возникновения неисправности и невозможности дальнейшего осуществления программы полета должны проводиться соответствующие процедуры для предотвращения случайного взрыва и, по мере возможности, неблагоприятного взаимодействия с полезными орбитами.

3.2 Стратегии защиты

104. Учитывая современный уровень засоренности околоземного пространства, конструкторам космической техники следует применять в своих разработках концепции прямой и косвенной защиты от орбитального мусора. Серьезную угрозу для космических объектов и орбитальных станций представляют высокоскоростные соударения с микрометеорными телами и частицами космического мусора размером 1-2 мм и более. Высокоскоростные соударения с частицами диаметром порядка 1 мм могут привести к снижению функциональных возможностей и срыву программы полета. Даже соударения мелких частиц с герметизированными космическими кораблями могут стать причиной растрескивания корпуса. Такие повреждения могут также помешать осуществлению мер

пассивации или уводу космического аппарата на орбиту захоронения по завершении программы полета. Во многих случаях иное расположение уязвимых компонентов может существенно повысить живучесть космического аппарата. Другие возможные стратегии защиты связаны с расчетливым выбором режима орбитального полета и предотвращением столкновений.

3.2.1 Экранная защита

105. Экранная защита от мелких частиц орбитального мусора может быть достаточно эффективной как для пилотируемых, так и для беспилотных космических аппаратов. Защита от частиц размером 0,1-1 см может быть обеспечена с помощью экранных конструкций космического аппарата. Современная технология экранной защиты на орбите не позволяет защитить космические аппараты от объектов размером 1-10 см, и такие объекты не могут в плановом порядке прослеживаться с помощью действующих сетей наблюдения. Однако защита от частиц размером 1-10 см возможна путем принятия специальных мер при проектировании космических аппаратов (резервные подсистемы, ломкие конструкции, изоляция резервуаров под давлением, разнесение на максимальное расстояние резервных компонентов, электропроводки и трубопроводов и т.д.). Физическая защита от частиц размером более 10 см пока технически не осуществима.

106. Существуют различные конструкции экранной защиты: начиная с простых однослойных выносных экранов "Уипл", которые размещаются перед корпусом космического объекта, и заканчивая сложными многослойными конструкциями из металла и керамики/полимерных материалов, которые должны сначала разрушить соударяющуюся частицу и затем поглотить высвобожденную в результате столкновения энергию. Выносные экраны следует располагать на относительно большом расстоянии от защищаемого объекта, чтобы обеспечить широкий разлет облака осколков, образующихся при ударе частиц космического мусора об экран. В результате ударные нагрузки распределяются по значительной площади корпуса защищаемого объекта. Удачные системы экранной защиты могут учитывать конструкцию космического аппарата и направление движения космического мусора, чтобы обеспечить защиту жизненно важных компонентов. Кроме того, конструкция космического аппарата может предусматривать размещение жизненно важных компонентов в мертвой зоне относительно преобладающего направления потока мусора. Применение сверхлегких многослойных панелей может обеспечить защиту от мелких частиц мусора, а размещение чувствительной аппаратуры за какими-то другими конструкциями космического аппарата также может повысить степень его живучести.

107. Глубина проникновения, или потенциал разрушения, соударяющегося объекта зависит от его массы, плотности, скорости и формы и физических свойств экранной защиты. Для прогнозирования ущерба в результате соударения частиц мусора с различными конструкциями экранной защиты применяются различные средства моделирования и имитации (например, применяемая в НАСА модель BUMPER, применяемая в ЕКА модель ESABASE, российская модель BUFFER и различные программы гидромоделирования, которые позволяют осуществлять моделирование с учетом условий, которые невозможно создать с помощью наземного исследовательского оборудования). Наземные испытания устройств экранной защиты космических аппаратов носят ограниченный характер, поскольку их испытание во всем диапазоне скоростей соударений не представляется возможным. Максимальная скорость, достигаемая на современных наземных ускорителях, составляет порядка 13 км/сек (например, с использованием кумулятивных зарядов), однако основная масса имеющихся данных касается соударений при скорости 7 км/сек. В настоящее время разрабатываются и совершенствуются новые методы расчета процессов, при которых происходят высокоскоростные соударения между частицами космического мусора и защитными экранами, когда скорость соударений составляет 5-15 км/сек.

3.2.1.1 Пилотируемые космические полеты

108. Пилотируемые космические аппараты, особенно космические станции, обычно значительно крупнее большинства беспилотных космических объектов и должны отвечать более высоким стандартам безопасности. Стратегии защиты пилотируемых космических кораблей могут предусматривать как меры по созданию экранной защиты, так и возможности осуществления на орбите ремонтных работ по устранению ущерба, нанесенного в результате пробоя. Современные конструкции экранной защиты обеспечивают защиту от объектов размером до 1 см. Главным критерием конструкции экранной защиты является вероятность непробития (ВНП). Расчеты

ВНП основываются на моделях засоренности космического пространства метеорными телами и частицами мусора и на предельных баллистических траекториях, получаемых благодаря гидромоделированию и экспериментам по изучению высокоскоростных соударений. Надежность расчетов ВНП в значительной степени зависит от точности модели среды космического мусора и метеорных тел. Уровень требуемой экранной защиты в значительной степени зависит от характера (материал, толщина и т.д.), местоположения и ориентации защищаемой поверхности. Так, на Международной космической станции будет свыше 200 различных видов экранов для защиты от космического мусора и микрометеорных тел.

109. На пилотируемых космических аппаратах можно устанавливать системы автоматического обнаружения и определения мест повреждений. В случае пробоя герметизированного модуля решающее значение имеет изоляция модуля или время, затрачиваемое на ликвидацию пробоя. Время, отпущенное на восстановление герметичности, зависит от размера пробоя, а время, требуемое для проведения ремонтных работ, зависит от используемых средств и применяемой стратегии.

110. Защита от естественного и антропогенного мусора необходима также для членов экипажа, осуществляющих внекорабельную деятельность (ВКД). Многие приспособления в современных скафандрах параллельно выполняют функции экрана, обеспечивающего защиту от объектов размером до 0,1 мм. Ориентируя должным образом свой космический корабль, астронавты могут использовать его в качестве экранной защиты от большей части космического мусора или прямых метеорных потоков.

3.2.1.2 Беспилотные космические аппараты

111. Для беспилотных космических аппаратов допустима менее высокая ВНП. Приемлемый уровень защиты от мелких частиц космического мусора и метеорных тел (размером менее 1 мм) достигается благодаря использованию армированных многослойных изоляционных материалов и конструкторским доработкам, включая внутреннюю компоновку топливопроводов, кабелей и других чувствительных составляющих (как, например, на канадском спутнике РАДАРСАТ). Для минимизации последствий повреждения панелей солнечных батарей в результате столкновений с мелкими частицами можно использовать конструкции со множеством электропроводных линий и минимальной массой конструкции, т.е. ломкие схемы.

3.2.2 Предотвращение столкновений

112. Существующие системы наблюдения за космосом не позволяют надежно проследить объекты на НОО с эффективной поверхностью рассеяния менее 10 см в диаметровом эквиваленте. Кроме того, довольно сложно вести учет параметров орбит по мелким каталогизированным объектам в силу таких факторов, как высокий показатель отношения площади к массе и, как следствие, более высокая подверженность влиянию изменений плотности атмосферы. Что касается достаточно крупных космических объектов, которые можно отслеживать с помощью наземных систем наблюдения за космосом, то уклониться от столкновений в момент выведения КА на орбиту и операций на орбите технически возможно.

113. Маневрирование на орбите с целью уклонения от столкновений создает целый ряд осложнений для эксплуатации спутника (например, расход топлива, перерывы в передаче данных и работе полезной нагрузки и временная утрата точности в слежении и определении параметров орбиты), в связи с чем маневрирование следует сводить к минимуму в контексте обеспечения безопасности КА и выполнения задач полета. Стратегии избежания столкновений наиболее эффективны при малой, желательно менее 1 км, погрешности в определении дистанции сближения. В любом случае уклоняющийся маневр не исключает полностью вероятность столкновения. При принятии решения о проведении уклоняющихся маневров МТКК США "Спейс шаттл" НАСА в качестве критерия приемлемого риска использует соотношение 1:100 000.

3.2.2.1 Маневрирование на орбите

114. Сеть станций космических наблюдений (ССКН) Соединенных Штатов и российская Система наблюдения за космическим пространством (СНКП) осуществляют мониторинг околоземного пространства для предупреждения

пилотируемых космических кораблей в тех случаях, когда ожидается пролет какого-либо объекта в нескольких километрах от корабля. Если расчеты показывают, что объект должен проследовать через зону космического пространства размером 25 км x 5 км x 5 км вдоль траектории полета МТКК США "Спейс шаттл", то ССКН усиливает слежение за этим потенциально опасным объектом. Если более точная методика расчета траектории пролета объекта указывает на вероятность совпадения траекторий в зоне космического пространства размером 2 км x 5 км x 2 км, то может быть выполнен маневр уклонения. За период 1986-1997 годов МТКК США "Спейс шаттл" совершили четыре таких уклоняющих маневра. Российская СНКП осуществляет аналогичные расчеты для предотвращения столкновений с орбитальной станцией "Мир".

115. Российские специалисты составили каталог опасных сближений космических объектов (несколько миллионов сближений) и алгоритм принятия решения о проведении уклоняющего маневра. Предлагается определять опасные ситуации в случаях ожидаемого сближения КА с фрагментами космического мусора и обеспечивать более активное информационное сопровождение этих событий и управление полетом КА, которому требуется защита. Ведется работа по созданию специальной телекоммуникационной системы, связывающей руководство РКА с Центром управления полетами в Королёве.

116. ЕКА и КНЕС используют расчеты орбит своих КА на НОО для прогнозирования вероятности пересечения траекторий и выполнения уклоняющих маневров, если превышаются допустимые пределы дальности пролета или расчетные уровни риска столкновения. При допустимом риске столкновения 1:10 000 принадлежащим ЕКА космическим аппаратам ERS-1 и ERS-2 требуется выполнять ежегодно 1 или 2 маневра. Маневр уклонения от столкновения был выполнен в июне 1997 года спутником ERS-1 ЕКА и в июле 1997 года спутником SPOT-2 КНЕС.

117. С увеличением числа космических аппаратов, выводимых на ГСО, все более важной становится координация деятельности по выдерживанию их положения на орбите. Для сохранения безопасного расстояния между КА, находящимися рядом на ГСО, эффективными являются стратегии векторного разнеса наклонения и эксцентриситета. Векторный контроль эксцентриситета может также использоваться для уменьшения риска столкновений между объектами, входящими в конкретную группировку спутников на НОО.

3.2.2.2 Запуск

118. В Соединенных Штатах Америки расчеты, выполняемые до запуска космического аппарата, позволяют установить безопасные стартовые окна, исключающие пролет КА вблизи находящихся на орбите пилотируемых кораблей (т.е. "Спейс шаттл", "Мир" или Международная космическая станция). В отношении МТКК "Спейс шаттл" используется такой же порядок предупреждения об опасности, что и при анализе опасности пересечения траекторий на орбите. В случае прогнозирования возможности пересечения траекторий запуск откладывается: на сегодняшний день дважды откладывался запуск МТКК "Спейс шаттл" с целью предотвратить возможность столкновений.

3.3 Эффективность мер по уменьшению засорения и защите от космического мусора

119. Одной из важнейших мер по уменьшению засорения, возможно, является более широкое информирование об опасностях, связанных с засоренностью околоземного космического пространства, и о многочисленных источниках образования орбитального мусора. Принятие мер по уменьшению засорения на ранней стадии конструирования КА может быть экономически оправданным. Проводимая среди предприятий аэрокосмической промышленности и национальных космических учреждений информационно-просветительская работа уже принесла свои плоды: в своей деятельности они стали добровольно руководствоваться принципами бережного отношения к околоземному космическому пространству.

120. Осуществляемые с начала 80-х годов меры по уменьшению засорения космического пространства сказались на динамике пополнения орбитального мусора. Сократились случаи случайных и намеренных крупных разрушений спутников, благодаря чему замедлились темпы образования орбитального мусора. Наблюдается даже снижение количества мусора с длительным сроком пребывания на орбите, образуемого при осуществлении полетов КА.

Новые технологии и конструкции экранной защиты от мусора позволили значительно снизить её вес и в то же время повысить её эффективность.

121. В аэрокосмической отрасли ведется работа по обоснованию эффективности типичных сценариев уменьшения засорения и связанных с ними затрат. В такой работе используются долгосрочные имитационные модели космической среды. Эти модели не обеспечивают точных прогнозов развития космической среды на несколько десятилетий вперед, однако позволяют оценить, какое влияние оказывает различного рода практика в этой области.

3.3.1. Сценарии мер по уменьшению засорения

122. Потенциальный рост засоренности околоземного пространства орбитальным мусором связан с такими основными факторами, как образование объектов, связанных с осуществлением программ полетов, фрагментация спутников и практика удаления с орбиты объектов в конце программы полета. Представленные ниже пять типичных сценариев мероприятий по уменьшению засорения в рамках всех космических полетов свидетельствуют о потенциальной эффективности мер по уменьшению засорения; они не носят обязательного характера и их следует использовать лишь для целей моделирования. Эти сценарии таковы:

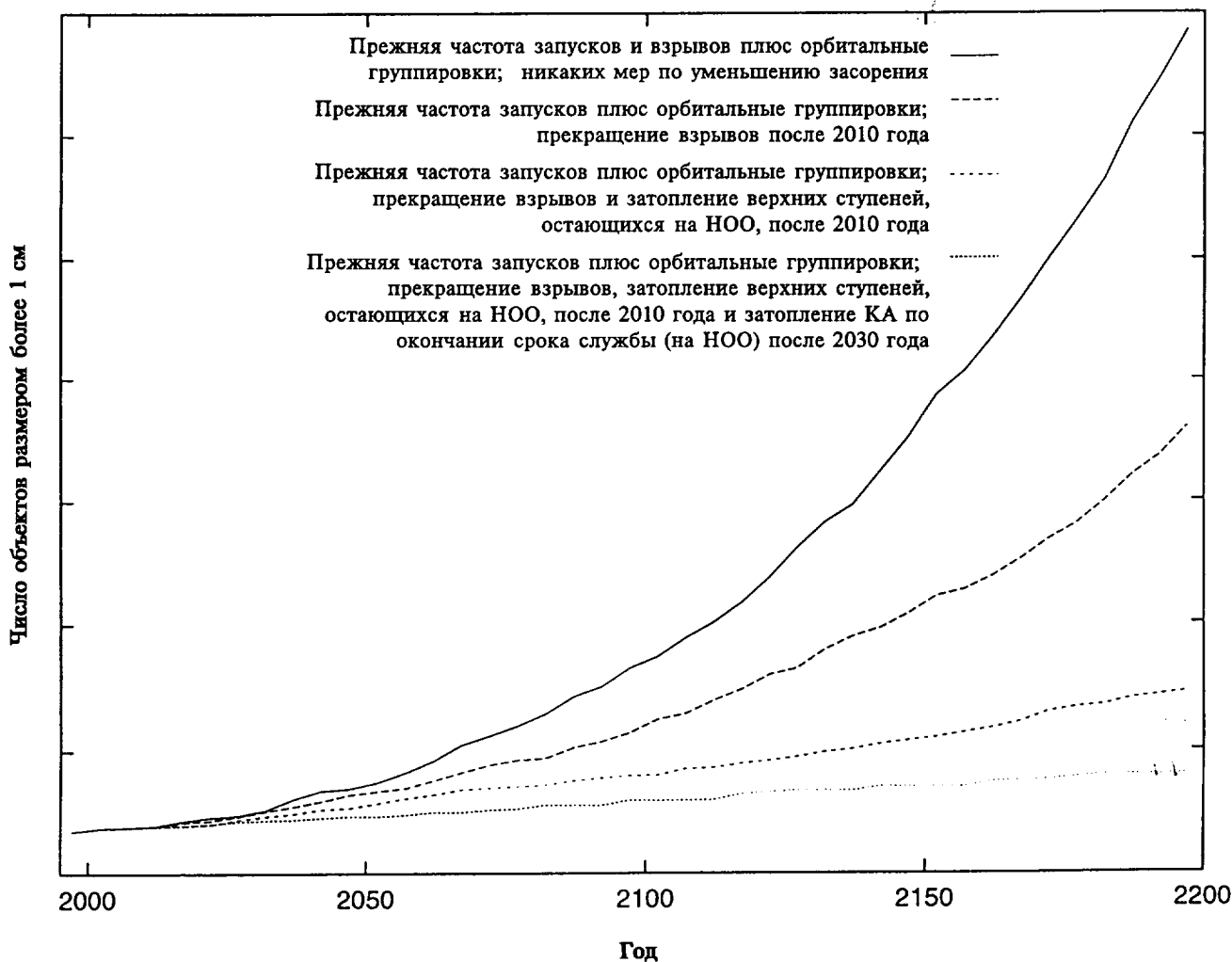
- а) стандартный сценарий, предусматривающий принимаемые в настоящее время меры по уменьшению засорения;
- б) недопущение образования объектов, связанных с программой полетов;
- в) пассивация всех космических объектов в конце программы полета;
- г) увод всех космических объектов с ГСО в конце программы полета;
- е) спуск космических объектов с НОО и ГПО в конце программы полета, в том числе снижение высоты орбиты для сокращения срока существования спутников (например, до менее чем 25 лет) и немедленное возвращение в атмосферу.

123. Первоначальные исследования указывают на то, что наибольшую выгоду в краткосрочной перспективе может принести прекращение случайных взрывов космических аппаратов и верхних ступеней. Как показывает практика многих операторов космических кораблей и ракет-носителей, наиболее эффективным способом предотвратить такие разрушения является пассивация аппаратов в конце программы полета.

124. В долгосрочной перспективе в связи с накоплением объектов на орбите может значительно возрасти опасность для проведения космических операций в области как низкой, так и высокой околоземной орбиты. Если не будут приняты меры по снижению засоренности и не будет изменена сложившаяся практика, то вследствие увеличения числа и общей площади сечения находящихся на орбите космических объектов возрастет вероятность столкновений, которые в свою очередь могут привести к появлению новых фрагментов мусора. Заметное сдерживающее влияние на рост засоренности оказывает перевод космических аппаратов с НОО и ГПО на орбиты увода с ограниченной продолжительностью существования (25 или менее лет). На схеме IX показано общее количество частиц мусора размером более 1 см на НОО при нескольких сценариях.

Схема IX

Общее количество частиц мусора размером более 1 см на низкой околоземной орбите при различных сценариях, 2000-2200 годы



3.3.2. Финансовые или иные последствия принятия мер по уменьшению засорения

125. Меры по уменьшению засорения и защите от космического мусора могут влиять на конструкцию и стоимость космических аппаратов и ракет-носителей, а также на их эксплуатацию.

3.3.2.1. Расходы на разработку систем

126. Видоизменение конструкций космических аппаратов и ракет-носителей в целях принятия мер по уменьшению засорения обычно увеличивает стоимость разработки систем. В этой связи экономически выгоднее предусматривать такие меры на раннем этапе процесса проектирования, чем позднее вносить изменения в конструкцию. Несмотря на возможное повышение сложности компоновки аппаратов, принятие некоторых мер по уменьшению засорения может способствовать разработке более простых конструкций и к выигрышу в массе.

3.3.2.2. Проигрыш в характеристиках запуска и в массе

127. Обеспечение незамедлительного возвращения в атмосферу или сокращения срока существования на орбите верхних ступеней ракет-носителей может влиять на траекторию и характеристики запуска. Равным образом, любое увеличение массы ракеты-носителя или космического аппарата в связи с необходимостью снижения засорения ведет к уменьшению массы выводимой полезной нагрузки. Может возникать необходимость в дополнительном запасе ракетного топлива или в дополнительных электроэнергетических ресурсах. Масштаб этих последствий может быть различным в зависимости от выбранных мер по уменьшению засорения и от конкретного космического аппарата или ракеты.

3.3.2.3 Продолжительность срока службы

128. В результате применения стратегий по уводу и сходу космических аппаратов с орбиты возможно сокращение срока их активной эксплуатации. Многие операторы космических аппаратов на ГСО пошли на такой проигрыш в сроках, чтобы сохранить существующие режимы использования орбит. Если в процессе проектирования учесть вероятность такой потери, то еще остается возможность обеспечить выполнение всех требований к продолжительности срока службы, хотя и за счет возможного увеличения массы или стоимости проекта.

3.3.2.4 Надежность

129. Принятие мер по уменьшению засорения и защите от космического мусора может приводить к повышению или снижению в целом надежности космических аппаратов и верхних ступеней. Так, применение экранов обеспечивает защиту от малоразмерных частиц мусора и может повысить надежность космического аппарата. Установка предохранительных клапанов для израсходования остатка топлива может привести к снижению надежности системы, однако такое влияние часто является совсем незначительным.

4. Резюме

130. В ходе многолетнего изучения проблемы космического мусора Научно-технический подкомитет Комитета по использованию космического пространства в мирных целях проанализировал: а) имеющиеся знания о засоренности околоземного космического пространства, полученные с помощью спутниковой и наземной аппаратуры наблюдения; б) возможности компьютерных моделей производить оценку опасности столкновения с фрагментами мусора и прогнозировать рост засоренности космического пространства; и с) различные меры по уменьшению засорения и защите от космического мусора.

131. С помощью расположенных в различных точках мира наземных оптических и радиолокационных систем наблюдения можно наблюдать и прослеживать космические объекты диаметром более 10 см на НОО и более 1 м на ГСО. В настоящее время на околоземной орбите находится более 8 500 каталогизированных объектов. В течение последних нескольких десятилетий происходило относительно линейное увеличение количества каталогизированных объектов, находящихся на орбите.

132. На основе данных о многочисленных каталогизированных объектах и статистических наблюдениях, полученных с помощью различной аппаратуры наблюдения, в некоторых странах разработаны модели засоренности околоземного пространства. Несмотря на то, что в этих моделях применяются различные методы, прогнозируемые тенденции, касающиеся засоренности околоземного космического пространства, качественно согласуются.

133. Среди мероприятий по уменьшению засорения были сочтены эффективными и в определенной степени уже применяются такие меры, как ограничение образования мусора, связанного с технологией полета, и предотвращение случайных взрывов. Кроме того, уже сложилась практика увода с ГСО космических аппаратов в конце их срока службы на орбиты длительного существования в качестве промежуточной меры по предупреждению возникновения в будущем проблем в районе ГСО. МККМ предложил алгоритм для определения минимальной высоты орбиты увода над ГСО. Для некоторых спутников на НОО с длительным периодом существования в конце срока их эксплуатации предусматривается перевод на орбиты кратковременного

пребывания. Такая практика в целом наиболее эффективно будет способствовать ограничению плотности объектов в тех диапазонах высот, которые наиболее интенсивно используются в настоящее время. Поскольку большинство мер по уменьшению засорения сопряжены с определенными затратами по проектам, важно, чтобы одинаковые процедуры по предупреждению засорения применялись на глобальной основе.

134. Многие организации, участвующие в космической деятельности, осознали потенциальную опасность космического мусора, при этом некоторые из них стали принимать меры по уменьшению засорения и информировать международное сообщество о результатах этой деятельности. Положительный вклад в исследование проблемы космического мусора и информирование о ней вносят такие международные организации, как МККН и МАА. Членами МККН являются практически все государства, способные осуществлять космические запуски, и государства, в которых разрабатывается и создается большинство космических систем.

135. В большинстве случаев антропогенный мусор представляет незначительную опасность для успешной эксплуатации приблизительно 600 действующих аппаратов, находящихся в настоящее время на околоземной орбите. Однако, согласно имеющимся данным и оценкам, засоренность околоземного пространства продолжает расти, в связи с чем возрастает вероятность столкновений, способных вызвать повреждения. Поскольку с помощью существующих технологий затруднительно решить задачу по улучшению состояния космической среды, разумным шагом к сохранению космического пространства для будущих поколений в настоящее время является осуществление определенных мер по уменьшению засорения космоса. В некоторых случаях еще требуется техническая работа для определения наиболее действенных и эффективных с точки зрения затрат решений.

Примечания

¹Подкомитету на его тридцать шестой сессии будет представлен последний документ, содержащий такую информацию (A/AC.105/708).

Приложение

Перечень документов, касающихся темы "Космический мусор"

Доклады о работе сессий Научно-технического подкомитета

Доклад Научно-технического подкомитета о работе его тридцать первой сессии (A/AC.105/571, 10 марта 1994 года)

Доклад Научно-технического подкомитета о работе его тридцать второй сессии (A/AC.105/605, 24 февраля 1995 года)

Доклад Научно-технического подкомитета о работе его тридцать третьей сессии (A/AC.105/637 и Согг.1, 4 марта 1996 года)

Доклад Научно-технического подкомитета о работе его тридцать четвертой сессии (A/AC.105/672, 10 марта 1997 года)

Доклад Научно-технического подкомитета о работе его тридцать пятой сессии (A/AC.105/697 и Согг.1, 25 февраля 1998 года)

Доклады о национальных исследованиях по проблеме космического мусора

Использование ядерных источников энергии в космическом пространстве (A/AC.105/C.1/WG.5/L.24, 15 января 1990 года)

Использование ядерных источников энергии в космическом пространстве (A/AC.105/C.1/WG.5/L.24/Add.1, 14 февраля 1990 года)

Использование ядерных источников энергии в космическом пространстве (A/AC.105/C.1/WG.5/L.24/Add.2, 26 февраля 1990 года)

Использование ядерных источников энергии в космическом пространстве (A/AC.105/C.1/WG.5/L.24/Add.3, 28 февраля 1990 года)

Космический мусор; работы, проводимая в Германии: рабочий документ, представленный Германией (A/AC.105/C.1/L.170, 12 февраля 1991 года)

Национальные исследования по проблеме космического мусора (A/AC.105/510, 20 февраля 1992 года)

Национальные исследования по проблеме космического мусора (A/AC.105/510/Add.1, 21 февраля 1992 года)

Национальные исследования по проблеме космического мусора (A/AC.105/510/Add.2, 26 февраля 1992 года)

Национальные исследования по проблеме космического мусора (A/AC.105/510/Add.3, 26 февраля 1992 года)

Национальные исследования по проблеме космического мусора; безопасное использование спутников с ядерными источниками энергии; и проблемы столкновения ядерных источников энергии с космическим мусором (A/AC.105/542, 8 февраля 1993 года)

Национальные исследования по проблеме космического мусора; безопасное использование спутников с ядерными источниками энергии; и проблемы столкновения ядерных источников энергии с космическим мусором (A/AC.105/542/Add.1, 17 февраля 1993 года)

Национальные исследования по проблеме космического мусора; безопасное использование спутников с ядерными источниками энергии; и проблемы столкновения ядерных источников энергии с космическим мусором (A/AC.105/659/Add.2, 14 февраля 1997 года)

Национальные исследования по проблеме космического мусора; безопасное использование спутников с ядерными источниками энергии; и проблемы столкновения ядерных источников энергии с космическим мусором (A/AC.105/680, 1 декабря 1997 года)

Национальные исследования по проблеме космического мусора; безопасное использование спутников с ядерными источниками энергии; и проблемы столкновения ядерных источников энергии с космическим мусором (A/AC.105/680/Add.1, 2 февраля 1998 года)

Документы по принимаемым космическими агентствами мерам по уменьшению засорения

Меры, принимаемые космическими агентствами для снижения темпов образования космического мусора или его потенциальной опасности (A/AC.105/620, 21 ноября 1995 года)

Меры, принимаемые космическими агентствами для снижения темпов образования космического мусора или его потенциальной опасности (A/AC.105/663, 13 декабря 1996 года)

Меры, принимаемые космическими агентствами для снижения темпов образования космического мусора или его потенциальной опасности (A/AC.105/681, 17 декабря 1997 года)

Материалы по научно-техническим вопросам

Материалы по научно-техническим вопросам, представленные Научно-техническому подкомитету (A/AC.105/487, 9 мая 1991 года)

Материалы по научно-техническим вопросам, представленные Научно-техническому подкомитету (A/AC.105/516, 29 мая 1992 года)

Материалы по научно-техническим вопросам, представленные Научно-техническому подкомитету (A/AC.105/546, 18 мая 1993 года)

Материалы по научно-техническим вопросам, представленные на тридцать первой сессии Научно-технического подкомитета (A/AC.105/574, 12 мая 1994 года)

Материалы по научно-техническим вопросам, представленные на тридцать второй сессии Научно-технического подкомитета (A/AC.105/606, 27 апреля 1995 года)

Материалы по научно-техническим вопросам, представленные на тридцать третьей сессии Научно-технического подкомитета (A/AC.105/638, 7 мая 1996 года)

Материалы по научно-техническим вопросам, представленные на тридцать четвертой сессии Научно-технического подкомитета (A/AC.105/673, 7 мая 1997 года)

Материалы по научно-техническим вопросам, представленные на тридцать пятой сессии Научно-технического подкомитета (A/AC.105/699, 20 апреля 1998 года)

Рабочие документы и доклады

Космический мусор: доклад о ходе работы, представленный Комитетом по исследованию космического пространства (A/AC.105/403, 6 января 1988 года)

Воздействие космической деятельности на окружающую среду: доклад, представленный Комитетом по исследованию космического пространства и Международной астронавтической федерацией (A/АС.105/420, 15 декабря 1988 года)

Проблема космического мусора: рабочий документ, представленный Австралией, Бельгией, Канадой, Нигерией, Нидерландами, Федеративной Республикой Германии и Швецией (A/АС.105/L.179, 1 июня 1989 года)

Использование ядерных источников энергии в космическом пространстве; космический мусор: рабочий документ, представленный Российской Федерацией (A/АС.105/C.1/L.193, 21 февраля 1994 года)

Космический мусор: доклад Международной астронавтической федерации (A/АС.105/570, 25 февраля 1994 года)

Столкновения ядерных источников энергии с космическим мусором: рабочий документ, представленный Российской Федерацией (A/АС.105/C.1/L.204, 13 февраля 1996 года)

Краткий обзор работ по проблеме техногенного загрязнения околоземного космического пространства, выполненных российскими учеными: рабочий документ, представленный Российской Федерацией (A/АС.105/C.1/L.205, 13 февраля 1996 года)

Космический мусор: рабочий документ, представленный Международной академией астронавтики (A/АС.105/C.1/L.217, 12 января 1998 года)

Космический мусор: рабочий документ, представленный Российской Федерацией (A/АС.105/C.1/L.219, 10 февраля 1998 года)

Пересмотренные тексты технического доклада

Пересмотренный текст технического доклада Научно-технического подкомитета о космическом мусоре (A/АС.105/C.1/L.214, 26 февраля 1997 года)

Пересмотренный текст технического доклада Научно-технического подкомитета о космическом мусоре (A/АС.105/C.1/L.224, 19 февраля 1998 года)