



Генеральная Ассамблея

Distr.
LIMITED

A/AC.105/C.1/L.213/Add.4
26 February 1997

RUSSIAN
Original: ENGLISH

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

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

**ПРОЕКТ ДОКЛАДА НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ПОДКОМИТЕТА О РАБОТЕ
ЕГО ТРИДЦАТЬ ЧЕТВЕРТОЙ СЕССИИ**

В. Технический доклад Подкомитета за 1997 год

1. Будучи обеспокоен воздействием космического мусора на окружающую среду и эксплуатацию КЛИА, Комитет по использованию космического пространства в мирных целях включил в свою повестку дня 1994 года вопрос о космическом мусоре. Было сочтено важным подвести прочную научно-техническую основу под будущие решения, затрагивающие комплекс проблем космического мусора.
2. Подкомитет решил сосредоточиться на изучении тех аспектов исследований, которые касаются космического мусора, включая методы измерения частиц мусора; математического моделирования засоренности околоземного космического пространства; определения параметров среды космического мусора; и мер по снижению опасности столкновений КА с космическим мусором, в том числе мер по защите конструкции КЛИА от космического мусора. Соответственно в 1995 году был принят многолетний план работы по конкретным темам, которые должны быть охвачены в период 1996-1998 годов. Было также решено, что этот рабочий план будет осуществляться на гибкой основе, с тем чтобы можно было учесть все актуальные вопросы, относящиеся к проблеме космического мусора.
3. Доклад Подкомитета будет составлен с учетом конкретных тем, включенных в план работы на период 1996-1998 годов. Доклад будет ежегодно пополняться новой информацией, на основе которой будут готовиться рекомендации и руководящие принципы, необходимые для выработки общего понимания проблемы, которая в свою очередь может послужить основой для дальнейшего обсуждения этого важного вопроса в рамках Комитета. В докладе за 1997 год основное внимание уделяется моделированию засоренности космического пространства и оценке опасности столкновения.

2. Моделирование засоренности околоземного космического пространства и оценка опасности столкновения

2.1 Моделирование засоренности околоземного космического пространства

2.1.1 Введение и методология

4. Модели засоренности космического пространства обеспечивают математическое описание размещения объектов в космосе, движения и потока объектов и их физических характеристик (например, размер, масса, плотность, отражающие свойства, особенности перемещения). Эти модели могут быть детерминированными по своему характеру (т.е. каждый объект описывается отдельно по своим орбитальным параметрам и физическим характеристикам), статистическими по виду (т.е. характеристика совокупности по выборочному числу объектов) или представлять собой комбинацию (т.е. гибрид). Эти модели могут применяться для оценки опасности и ущерба, прогнозирования скорости обнаружения мусора наземными средствами, прогнозирования маневров эксплуатируемого КЛА во избежание столкновения с мусором и перспективного анализа эффективности мер по снижению засоренности.

5. При создании моделей космического мусора необходимо учитывать следующие механизмы, являющиеся источниками мусора и дополняющие скопление орбитальных объектов:

- a) ракеты-носители (включая верхние ступени ракеты-носителя, полезные нагрузки и связанные с запуском объекты);
- b) маневры (в результате запуска ракет на твердом топливе);
- c) разрушения (в результате взрывов и столкновений);
- d) отделение материалов от поверхностей (эффект старения, например, куски краски);
- e) отделение материалов в результате утечки (например, охладитель ядерных источников энергии (ЯИЭ)).

6. Необходимо также учитывать следующие механизмы постепенного снижения частиц мусора:

- a) орбитальный распад на орбите в результате сопротивления атмосферы или других воздействий;
- b) увод с орбиты;
- c) сход с орбиты.

Модель засоренности должна содержать все или некоторые из этих элементов.

7. В моделях засоренности околоземного космического пространства используются все из имеющихся источников данных. К ним относятся:

- a) детерминированные данные о дециметровых и более крупных объектах, включенных в каталог спутников Объединенного космического командования Вооруженных сил Соединенных Штатов Америки и Российский каталог наблюдаемых космических объектов;
- b) статистические данные о сантиметровых частицах, полученных с помощью целенаправленных радиолокационных наблюдений на низкой околоземной орбите (НОО);
- c) статистические данные о встречаемых скоплениях миллиметровых частиц на основе анализа извлеченных поверхностей;

- d) наземное моделирование столкновений на сверхзвуковых скоростях с корпусами спутников и ракет; и
- e) наземное моделирование фрагментации в результате взрыва.

8. Эти модели имеют ограниченные возможности в силу недостаточного объема имеющихся данных, с помощью которых можно было бы подтвердить установленную связь. Эти модели должны быть основаны на имеющихся записях характеристик спутников, деятельности, связанной с запуском, и разрушений на орбите; кроме того, имеется ограниченный объем данных о реагировании материалов КЛА на воздействие и взаимодействие с орбитальной средой. Кроме того, в рамках применения этих моделей для предсказания будущей среды необходимы веские предположения. В частности, сценарий будущих потоков космических объектов запусков и применение мер по снижению засоренности будут иметь серьезное воздействие на результаты вероятностного моделирования. Необходимо постоянно обновлять и тестировать модели космического мусора, с тем чтобы в них нашли отражение более совершенные по точности и объему подборки данных наблюдений и экспериментов.

9. Модели засоренности могут иметь две формы: дискретные модели, которые представляют скопление мусора в детальном формате, или модели инженерной методики аппроксимации в форме функций распределения. Кроме того, эти модели по своему характеру могут быть краткосрочными (учитывая периоды времени до десяти лет) или долгосрочными (учитывая периоды времени свыше десяти лет). При подготовке всех этих моделей в конкретный начальный период представляется первоначальное скопление мусора, а далее оно постепенно размножается с течением времени с учетом механизмов появления и постепенного снижения частиц мусора и соответствующих изменений на орбите.

10. Соответствующие характеристики моделей сопоставляются в таблице __ ниже.

2.1.2. Краткосрочные модели

11. Научным и инженерным сообществом разработаны следующие краткосрочные модели:

a) модель EVOLVE была разработана Космическим центром им. Джонсона НАСА для содействия составлению кратко- и среднесрочных прогнозов засоренности на НОО с использованием источников экстенсивного засорения и подробных моделей потоков космических объектов на основе квазидетерминированных методик расчета интенсивности засорения;

b) модель ORDEM-96 представляет собой полуэмпирическую инженерную модель, разработанную Космическим центром им. Джонсона НАСА. Она основывается на экстенсивных дистанционных наблюдениях и наблюдениях в космосе и применяется в помощь конструкторским разработкам и решению эксплуатационных вопросов применительно к МТКК "Спейс шаттл" Соединенных Штатов Америки и Международной космической станции;

c) модель MASTER представляет собой полудетерминированную модель засоренности ЕКА, в основе которой лежит трехмерная дискретизация объемной плотности и переходных скоростей. Эта модель может применяться для высот 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 в Германии;

d) модель IDES представляет собой полудетерминированную модель засоренности, в основе которой используются подробные модели потоков космических объектов и спутниковых характеристик для составления кратко- и долгосрочных прогнозов засорения околоземной орбиты. Эта модель была разработана Управлением оборонных исследований в Фарнборо;

e) разработанная ЦПИ модель Назаренко представляет собой полуаналитическую стохастическую модель для составления средне- и долгосрочных прогнозов засоренности околоземного пространства, позволяющую производить распределения по объемной плотности и скоростям. Эта модель основывается на каталоговых данных России и Соединенных Штатов Америки.

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

2.1.3. Долгосрочные модели

12. Целью долгосрочного моделирования засорения среды орбитальным мусором является составление долгосрочных (до 100 лет) прогнозов количества объектов на основе учета времени, высоты траектории и размера объекта. Эти прогнозы играют важную роль в оценке необходимости применения мер по снижению засоренности и эффективности таких мер.

13. 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 среде всех космических объектов пропорционален квадрату количества объектов. Таким образом, если в будущем количество объектов будет возрастать теми же темпами, что и в прошлом (ежегодное увеличение на определенный процент в линейной прогрессии), то риск интерактивных столкновений возрастет.

14. 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.

15. 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 ПН в расчете на каждый запуск;
- c) будущему количеству объектов, связанных с полетом (обтекатели, болты и т.д.);
- d) будущему количеству взрывов КА и верхних ступеней.

16. 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.).

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

a) **CHAIN, CHAINEE**: CHAIN была разработана в Брауншвейгском техническом университете в соответствии с правительственным контрактом. С 1993 года эту математическую модель применяет и совершенствует НАСА. Европейским вариантом CHAIN является CHAINEE, которой пользуется ЕКА и которая представляет собой аналитическую модель "ящик с частицей" и характеризует движение совокупности космических объектов и фрагментов соударения на высоте до 2 000 км с использованием 4 элементов разрешения по высоте на НОО и 5 различных классов массы. CHAINEE представляет собой супербыстродействующую компьютерную программу (приблизительно 10 сек. на 100 имитируемых лет). Она позволяет выявлять наличие относительных тенденций, ассоциированных с конкретными мерами по снижению засоренности. Степень разрешения CHAIN имеет ограниченный предел вследствие использования элементов разрешения;

b) **EVOLVE**: разработанная НАСА математическая модель EVOLVE представляет собой полудетерминистскую модель, т.е. объекты мусора описываются индивидуально с помощью множества параметров. Помимо того, что с помощью этой модели можно смоделировать существующую на сегодняшний день обстановку засоренности околоземного космического пространства, ее можно использовать для изучения будущих эволюционирующих характеристик засоренности космическим мусором с учетом различных мер по смягчению ситуации на основе использования методов Монте-Карло. С этой целью используются данные моделирования космического полета. Благодаря используемой методологии результаты надежности и степени разрешения этой модели в плане высоты орбиты и габаритов объекта являются вполне хорошими;

c) **IDES**: математическая модель IDES была разработана в департаменте космоса Управления оборонных исследований в Фарнборо, Соединенное Королевство. В ней моделируются ретроспективные данные вплоть до 1996 года. Для подготовки анализа будущих сценариев используются модели потока космических объектов и прогнозы засоренности с экстраполяцией на перспективу с целью определения возможных ситуаций взаимодействия в рамках совокупности космических спутников;

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 объемного разрешения и необходимый допуск компьютерного 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 (например, вблизи полярных районов);

e) **STAT/SDM**: в Пизанском университете в Италии в соответствии с контрактом ЕКА были разработаны две компьютерные программы для целей перспективного моделирования. В стохастическом подходе (STAT) и в полудетерминистской модели (SDM) используются одинаковые первоначальные данные о совокупности космических объектов и одинаковые предположения относительно источника появления и постепенного снижения космических объектов. В модели SDM используются орбиты представительного подмножества совокупности космических объектов для вычисления интенсивности столкновений и отображения изменения совокупности космических объектов во времени. Данные объемной плотности закладываются в элементы разрешения по высоте и массе в зависимости от временной составляющей. С помощью параметрических исследований можно проанализировать воздействие политики в отношении запуска КО и мер по снижению засоренности на динамику совокупности космических объектов. Альтернативой модели SDM является программа STAT, в которой используется доказавший свою эффективность принцип "ящик с частицей" в рамках компьютерного времени. В основу этой программы положена система спаренного нелинейного множества дифференциальных уравнений, которые сгруппированы по порядку.

18. Если суммировать основные данные о вышеупомянутых способах моделирования засоренности на перспективу, то можно сказать следующее:

а) если космические запуски будут продолжаться в соответствии с тем, как это делалось в прошлом, то в будущем ситуация с космическим мусором может выйти из-под контроля. Это произойдет вследствие увеличения числа столкновений среди более крупных объектов;

б) в настоящее время основным источником засорения являются фрагменты, образовавшиеся после взрывов. После определенного момента времени все будет зависеть от "осколочной" обстановки.

в) начало второго этапа такого развития событий повлечет за собой так называемый эффект коллизионного каскадирования. Это означает, что в результате появления осколков от столкновений число последующих столкновений будет возрастать. В этот период времени увеличение совокупности будет экспоненциальным.

19. Результаты долгосрочных моделей мусора согласуются неполностью. Вместе с тем выявленные на основе моделей принципиальные особенности и тенденции вполне согласуются.

20. Вероятность столкновения более крупных объектов на начальном этапе невысока. Поэтому представляется важным провести анализ ряда экспериментов с применением единого метода Монте-Карло или использовать метод средней величины для получения надежных закономерностей и тенденций. В вышеупомянутых моделях этот эффект учитывается.

2.2. Оценка опасности столкновения с орбитальным мусором

2.2.1. Введение

21. Оценка включает вероятность наступления такого события, а также его последствия. При помощи моделей засоренности орбитальным мусором может быть дана оценка опасности столкновения эксплуатируемого КЛА и орбитального мусора. Находящиеся на НОО КЛА постоянно сталкиваются с очень мелкими частицами (< 100 микрон) как следствие большого числа частиц такого мусора, однако последствия, как правило, являются минимальными из-за их небольшой массы и энергии. В результате меньшего скопления крупных объектов мусора вероятность столкновения резко снижается по мере увеличения размера частиц мусора. Вместе с тем возрастает опасность столкновения крупных объектов.

22. К основным факторам риска относятся объемная плотность и средняя относительная скорость столкновения на орбите (высота и наклонение) соответствующих космических объектов, площадь поперечного сечения космического объекта и продолжительность 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, вероятность столкновения орбитальных объектов особо зависит от высоты; в целом порядок величин выше на НОО, чем на ГСО.

2.2.2 Оценка опасности столкновения на НОО

2.2.2.1 Методология

23. Оценка опасности столкновения КЛА 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 микрометеориты отвечают этим критериям независимости, за исключением случаев разрушения или метеоритного шторма.

24. Для расчета вероятности воздействия космического мусора необходима модель засоренности метеоритами/орбитальным мусором (М/ОМ), конфигурация КЛА и характеристика полета. Для расчета вероятности пробивания корпуса и/или неполадок в КА под воздействием мусора требуется доскональное знание конфигурации КЛА, включая:

а) геометрию жизненно важных подсистем;

- b) сопротивляемость на пробой или уравнение баллистического предела каждой подсистемы;
 - c) данные о способности каждой подсистемы справляться с повреждениями.
25. Компьютерные программы позволяют на основе этой информации рассчитать:
- a) вероятность соударения частиц космического мусора определенного размера;
 - b) вероятность повреждения какой-либо подсистемы в результате соударения;
 - c) вероятность повреждения, обусловленная ее местонахождением;
 - d) различия в степени ущерба, наносимого космическим мусором искусственного происхождения и микрометеорами.

2.2.2.2. Результаты оценки опасности столкновения

26. 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 "Шаттл". Параметры полета МТКК "Шаттл" оперативно изменяются во всех случаях, когда предполетная оценка опасности столкновения указывает на ее недопустимо высокий уровень.
27. 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.
28. Оценка опасности столкновения используется также при разработке непилотируемых космических аппаратов. Она помогает определить место установки экранной защиты ключевых подсистем, а также спроектировать конфигурацию крупных систем взаимосвязанных спутников связи.

Таблица __. Среднее время между соударениями со спутниками на площади поперечного сечения 100 кв.м.

Высота орбиты	Объекты 0,1-1,0 см	Объекты $1 \geq 10$ см	Объекты > 10 см
500 км	1-10 лет	370-700 лет	15 000 лет
1 000 км	0,3-3 лет	70-140 лет	2 000 лет
1 500 км	0,7-7 лет	100-200 лет	3 000 лет

2.2.3. Оценка опасности столкновения на ГСО

29. В настоящее время имеется достаточно точная информация лишь о числе космических аппаратов и верхних ступеней, находящихся на ГСО и в непосредственной близости от нее. Ввиду ограниченного числа таких объектов, их широкой пространственной разбросанности 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 чрезвычайно 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 орбитальным мусором достаточно заблаговременно, что позволяет уклониться от столкновения с помощью маневра.

30. Точное число фрагментов орбитального мусора размером до 1 метра в диаметре вблизи ГСО не известно. Известен один случай разрушения космического аппарата и один случай разрушения верхней ступени, и некоторые данные дают основания предполагать, что могут произойти разрушения других объектов. Тем не менее такой мусор будет перемещаться на наклонную орбиту, что ведет к сокращению времени его нахождения на ГСО, но в то же время повышает относительную скорость столкновения. Зачастую будет происходить боковое рассеивание фрагментов мусора как по высоте, так и по наклонению. Прежде чем появится возможность получать более точную оценку опасности столкновения, необходимо проводить дополнительные измерения орбитального мусора на ГСО. Кроме того, возможно, потребуются разработать новые методы определения вероятности столкновений, которые учитывали бы неслучайный характер сближений объектов на ГСО.

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

2.2.4 Оценка опасности входа в плотные слои атмосферы фрагментов орбитального мусора

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

33. Приблизительно за 40 лет было отмечено свыше 16 000 случаев возвращения в атмосферу Земли зарегистрированных космических объектов. Информации о нанесении существенного ущерба или повреждений не поступало. В значительной степени это можно объяснить большой площадью океанской поверхности 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 поперечным сечением около 1 кв.м или более, и, согласно имеющейся информации, некоторые из этих фрагментов не разрушались полностью.

34. Опасность входа в атмосферу какого-либо объекта связана не только с механическим соударением, но и с химическим или радиологическим загрязнением 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.

35. Оценка опасности вхождения в плотные слои атмосферы какого-либо объекта должна включать данные о его форме, анализ высоты аэродинамического распада, определение компонентов, которые могут уцелеть при вхождении в плотные слои атмосферы, моделирование этих компонентов и расчет общей площади поражения.

36. На международном уровне еще не достигнуто единого мнения относительно людских потерь, которые может вызвать вхождение какого-либо объекта в плотные слои атмосферы. Согласно расчетам, представленным в документе НАСА по стандартам безопасности № 1740.14 под названием "Guidelines and assessment procedures for limiting orbital debris" ("Руководящие принципы и процедуры оценки мер по ограничению орбитального мусора"), вероятность людских потерь составляет 10^{-4} .

37. Подкомитет отметил, что на своей следующей сессии он должен уделить основное внимание последнему пункту своего многолетнего плана работы - мерам по уменьшению засорения и защите от космического мусора. Он согласился с целесообразностью предложить Международной академии космонавтики подготовить через свой Подкомитет по космическому мусору всеобъемлющий рабочий документ о применяемой в настоящее время практике уменьшения засоренности, а также о предлагаемых мерах по уменьшению засорения и защите от космического мусора.

38. На следующей сессии Научно-технического подкомитета предстоит завершить рассмотрение следующего раздела:

3. Меры по уменьшению засорения и защите от космического мусора

3.1 Уменьшение засорения

3.1.1 Предупреждение образования мусора при осуществлении полетов

3.1.2 Повышение надежности конструкции космических объектов (предупреждение взрывов и т.д.)

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

3.2 Стратегии защиты

3.2.1 Экранная защита

3.2.2 Избежание столкновений

3.3 Эффективность мер

4. Схемы

39. Приведенные ниже схемы I-VIII, которые должны быть включены в заключительный Технический доклад Подкомитета по космическому мусору, представляют собой предварительные варианты.

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

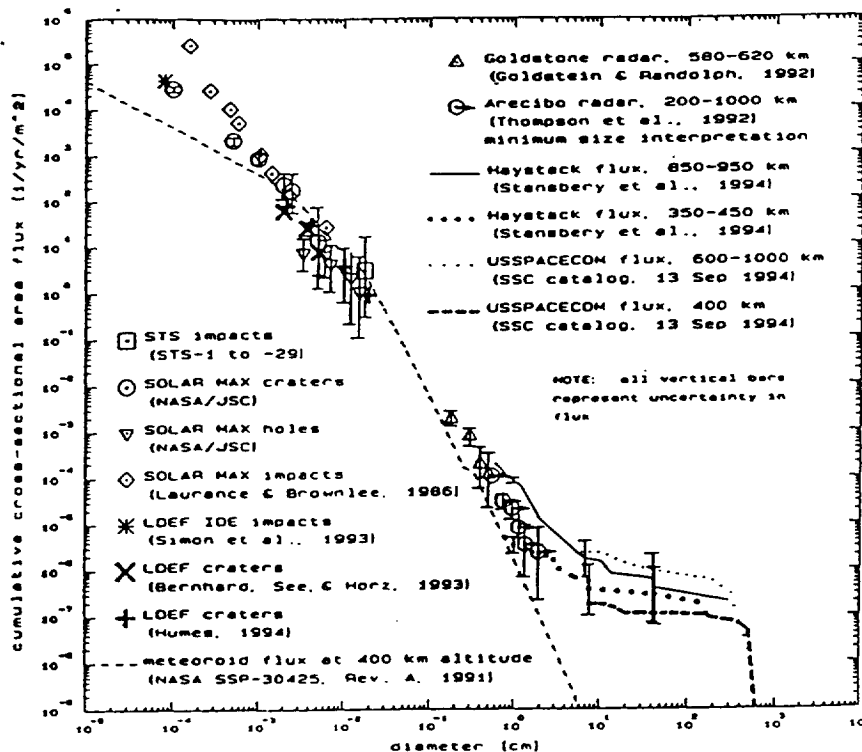


Схема II. Данные, характеризующие орбитальный мусор: диаметр/высота/год

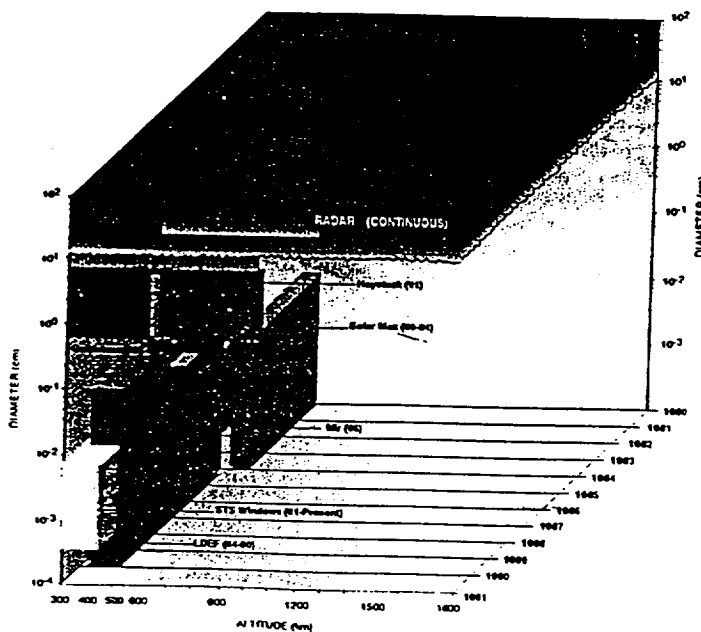


Схема III. Каталогизированные орбитальные объекты
(с корректировкой по запаздыванию каталогизации)

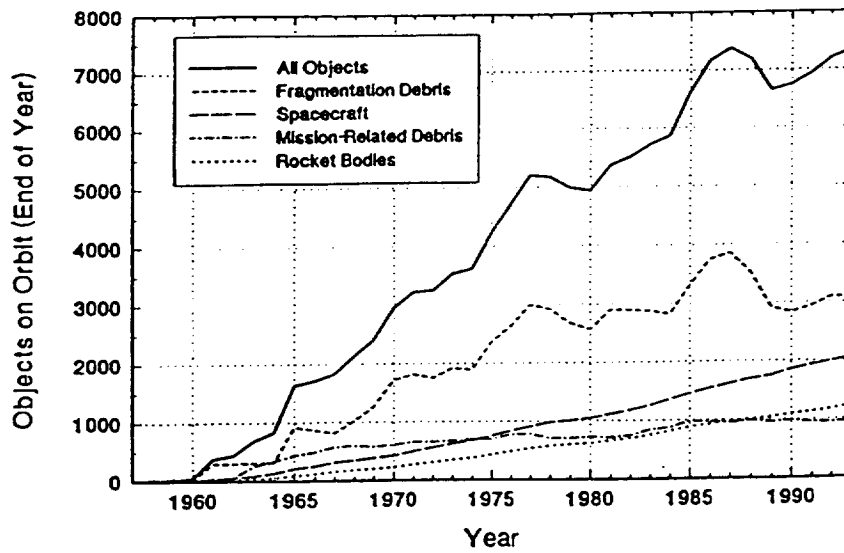


Схема IV. Распределение спутников на околоземной орбите

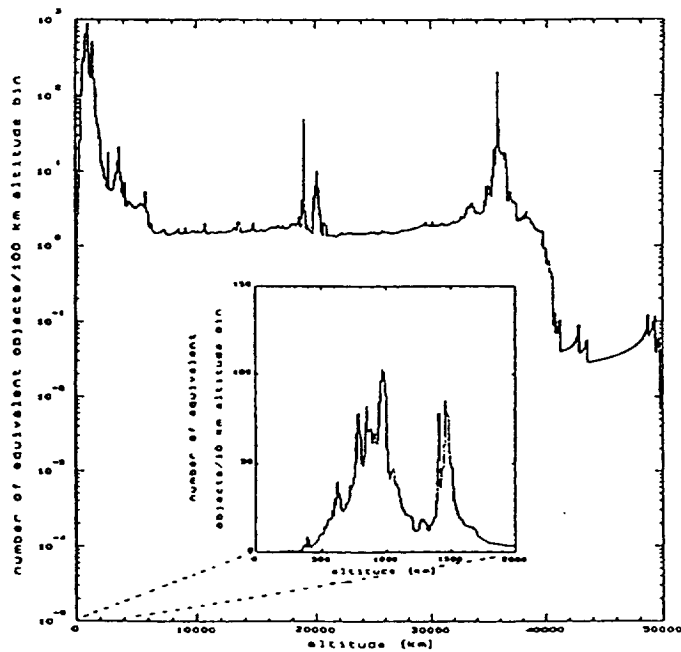


Схема V. Полезные нагрузки и верхние ступени, запущенные на ГСО

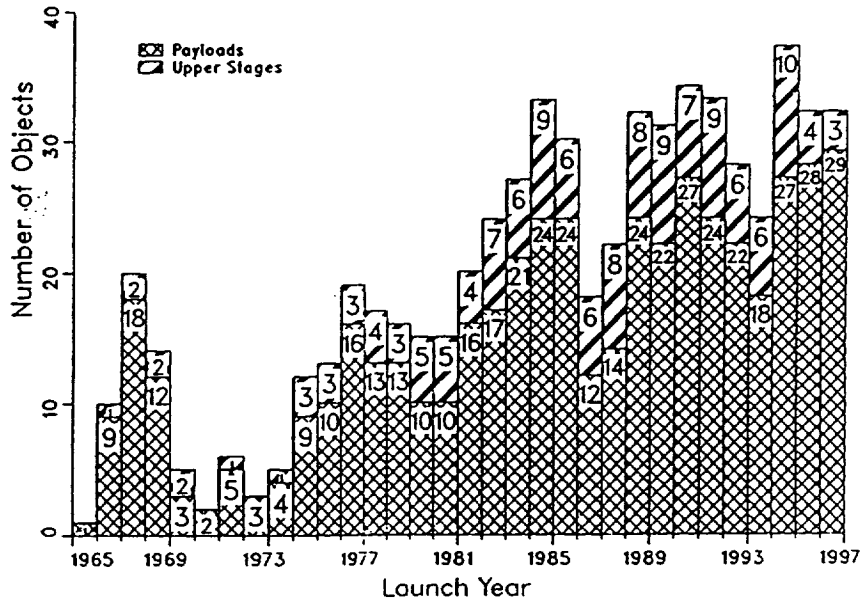


Схема VI. Поток объектов на НОО

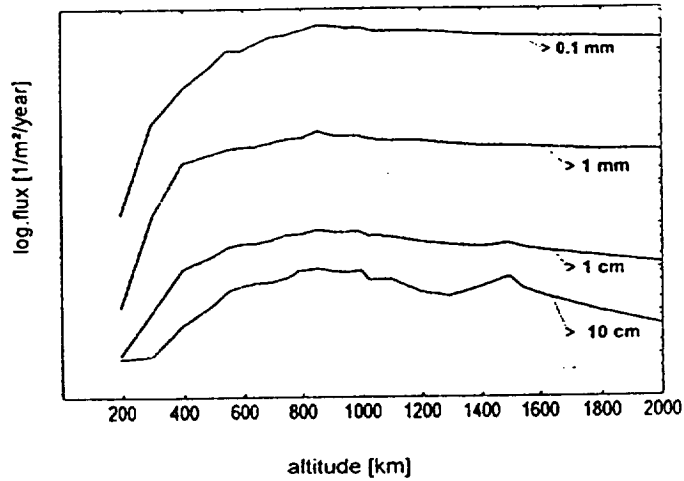


Схема VII. Совокупное количество разрушительных столкновений

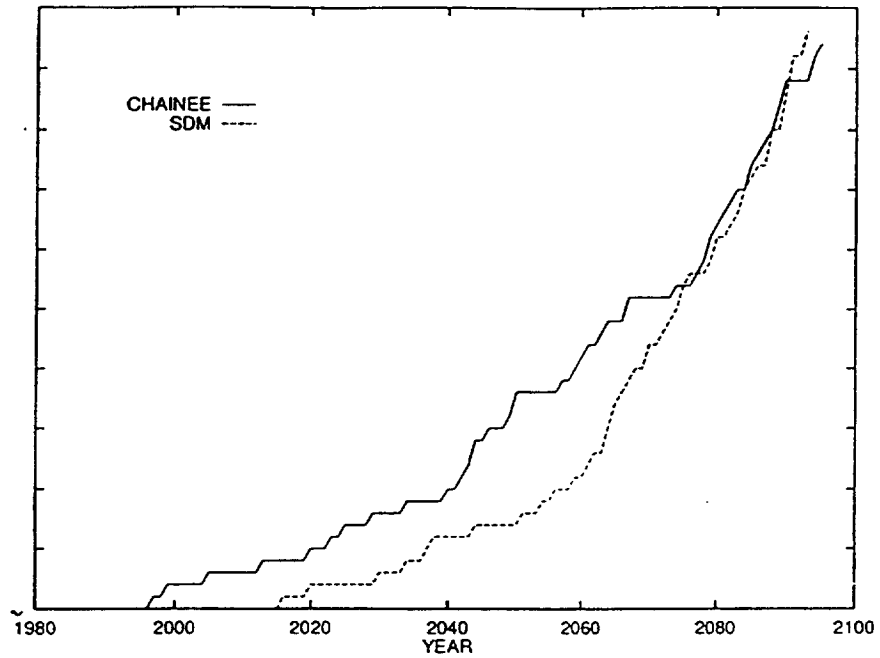


Схема VIII. Смоделированная совокупность объектов с учетом сохраняющейся интенсивности запусков

