



Генеральная Ассамблея

Distr.: General
20 December 1999

Russian
Original: English

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

**Национальные исследования по проблеме космического мусора,
безопасное использование спутников с ядерными источниками
энергии и проблемы столкновения ядерных источников
энергии с космическим мусором**

Записка Секретариата

Содержание

	<i>Стр.</i>
I. Введение	2
II. Ответы, полученные от государств-членов	2
Кипр	2
Ирландия.....	2
Израиль	2
Республика Корея	3
Нидерланды	3
Соединенное Королевство Великобритании и Северной Ирландии	3

I. Введение

1. В пункте 31 своей резолюции 53/45 от 3 декабря 1998 года Генеральная Ассамблея отметила, что государствам-членам крайне необходимо уделять больше внимания проблеме столкновения космических объектов, в том числе с ядерными источниками энергии, с космическим мусором и другим аспектам проблемы космического мусора, и призвала продолжать национальные исследования по этому вопросу, разрабатывать усовершенствованные технологии наблюдения за космическим мусором и собирать и распространять данные о космическом мусоре. Ассамблея выразила мнение, что, по мере возможности, информацию по этому вопросу следует предоставлять Научно-техническому подкомитету Комитета по использованию космического пространства в мирных целях.

2. В своей вербальной ноте от 30 августа 1999 года Генеральный секретарь предложил всем государствам-членам направить Секретариату к 31 октября 1999 года упомянутую выше информацию, с тем чтобы Секретариат смог подготовить доклад, содержащий эту информацию, для представления Подкомитету на его тридцать седьмой сессии.

3. Настоящий документ подготовлен Секретариатом на основе информации, полученной от государств-членов и международных организаций по состоянию на 10 декабря 1999 года. Информация, поступившая после этой даты, войдет в соответствующие добавления к настоящему документу.

II. Ответы, полученные от государств-членов

Кипр

[Original: English]

Правительство Кипра имеет честь сообщить Генеральному секретарю, что у него нет замечаний ни по проблеме космического мусора, ни по вопросу использования ядерных источников энергии в космическом пространстве.

Ирландия

[Original: English]

Ирландия признает растущие масштабы проблемы космического мусора и связанного с этим риска столкновений и будет поддерживать деятельность, направленную на разработку и внедрение соответствующих стандартов в области контроля и устранения материалов, помещенных в космическое пространство.

Время от времени термоэлектрические ядерные источники энергии используются различными учреждениями, например, при полетах в дальний космос, при которых нельзя полагаться на солнечную фотоэлектрическую энергию, и Ирландия будет поддерживать деятельность, направленную на разработку и внедрение жестких стандартов и гарантий в отношении таких источников энергии.

Израиль

[Original: English]

В Израиле не осуществляется какой-либо деятельности, связанной с использованием ядерных источников энергии в космическом пространстве.

Республика Корея

[Original: English]

Что касается проблемы космического мусора, то для ее решения Республика Корея предлагает использовать принцип "платит виновный", в соответствии с которым развитые страны-производители космического мусора должны нести ответственность за мусор, находящийся в космическом пространстве. Такой подход соответствует экологической политике, проводимой в настоящее время на поверхности земли. Странам, которые поместили мусор в космическое пространство, таким как Франция, Российская Федерация и Соединенные Штаты Америки следует играть ведущую роль в области деятельности по его устранению, внедрению стандартов и поиску мер по смягчению воздействия космического мусора. Им также необходимо оказывать поддержку развивающимся странам в принятии мер по уменьшению в будущем количества космического мусора путем учреждения международного фонда по содействию такой деятельности.

Использование ядерных источников энергии следует строго ограничить, за исключением случаев выполнения специальных миссий, таких как полеты в дальний космос. Для этих миссий придется разработать безопасную конструкцию таких источников и соответствующие стандарты безопасности. Эти технологии должны совместно использоваться развитыми и развивающимися странами, с тем чтобы поддерживать чистоту и безопасность на нашей Земле и в космическом пространстве.

Нидерланды

[Original: English]

Что касается изучения земных процессов и технических стандартов, которые могут иметь отношение к использованию ядерных источников энергии в космическом пространстве, то Нидерланды не осуществляют какой-либо деятельности в этой области. Поэтому для Нидерландов более не представляется возможным продолжать рассмотрение факторов, на основании которых можно было бы провести различие между использованием ядерных источников энергии в космическом пространстве и применением ядерной энергии в земных условиях.

Соединенное Королевство Великобритании и Северной Ирландии

[Original: English]

A. Введение

Соединенное Королевство по-прежнему играет активную роль в решении проблемы космического мусора. На национальном уровне эта деятельность осуществляется в рамках Координационной группы Соединенного Королевства по космическому мусору, а на международном - через Межучережденческий координационный комитет по космическому мусору (МККМ) и Комитет Организации Объединенных Наций по использованию космического пространства в мирных целях. Участие Соединенного Королевства в работе этих форумов по-прежнему координируется Британским национальным космическим центром.

Последнее совещание Координационной группы Соединенного Королевства состоялось в апреле 1999 года в Управлении оборонных исследований и анализа. В его работе приняли участие представители всех ведущих групп Соединенного Королевства по исследованию космического мусора, работающих в промышленности и в университетском сообществе, в том числе: "Сенчури Дайнемикс", Управления оборонных исследований и анализа Соединенного Королевства (DERA), "Флойд Грэвити Инджиниринг", Министерства обороны, "Матра Маркони Спейс" (MMS) и Кентского, Лондонского и Саутгемптонского университетов. Были представлены доклады по широкому

му кругу вопросов: работа предыдущего совещания МККМ в Тулузе; достижения в области разработки новой аппаратуры слежения за космическим мусором; разработка новых моделей «космический мусор/метеорные тела» и достигнутые результаты; исследования, касающиеся защиты от космического мусора.

На международном уровне Соединенное Королевство участвовало в совещании МККМ полного состава, которое состоялось в Тулузе в ноябре 1998 года, и в совещании Руководящей группы МККМ в Вене в июле 1999 года.

В прошлом году Соединенное Королевство проводило следующую деятельность в области НИОКР, связанных с проблемой космического мусора.

В. Измерение характеристик сообщества космического мусора

1. Детекторы космического мусора

Обнаружение объектов в космосе в реальном масштабе времени позволяет получать ценную информацию о среде космического мусора и метеорных тел. Метод обнаружения, как правило, основан на использовании энергии соударяющейся частицы для приведения в действие механизма измерения, и, следовательно, на разрушении ее физической целостности. Секция космических наук и астрофизики Кентского университета в Кентербери продолжала подготовку к использованию трех возможностей полета детектора космического мусора, получившего название DEBIE. Помощь в подготовке первого из этих полетов оказывает финский консорциум, обеспечивая изготовление прибора спутника ПРОВА Европейского космического агентства (ЕКА), запуск которого намечен на середину 2000 года. Космические датчики должны быть доставлены для калибровки в Кентский университет в ноябре 1999 года. Что касается второй возможности, связанной с запуском экспериментального космического аппарата для отработки космической техники (спутника STRV 1C), то в августе и сентябре Кентский университет уже осуществил калибровку космических датчиков и обеспечил поставку всей аппаратуры для полета. Все блоки уже установлены на космическом аппарате, запуск которого должен состояться в первом квартале 2000 года. Третий полет этого прибора может состояться на Международной космической станции (МКС). Он будет установлен на комплексе для изучения внешнего воздействия космической среды, который будет запущен ЕКА в космос в июне 2002 года с продолжительностью полета в три года и последующим возвращением на Землю. Следовательно, это даст возможность изучить поверхности после их возвращения из космоса на Землю.

В Кентском университете проводились также исследования в области использования нового метода обнаружения, получившего название "Аэрогельный позиционный датчик регистрации соударений" (APSYS), который будет обеспечивать обнаружение в реальном масштабе времени и одновременно проводить анализ возвратившихся из космоса образцов¹. Путем регистрации положения и времени соударения с возвращаемым на землю коллектором, послеполетное сканирование и анализ оставшихся следов могут позволить получить химические и физические данные о соударяющихся частицах. Кроме того, при измерении вектора скорости космического аппарата в момент соударения можно рассчитать траекторию в соответствующей системе координат орбиты. Результаты анализа системных потребностей указывают на целесообразность использования APSIS в качестве детектора широкого спектра действия, что оправдывает его установку на МКС.

2. Анализ возвращенных из космоса поверхностей

Как и в случае детекторов in-situ, анализ возвращенных из космоса поверхностей позволяет получить ценные данные о космической среде. Недавно в Кентском университете был проведен анализ поверхностей элементов одной из солнечных батарей космического телескопа Хаббл, которые были возвращены на землю после пребывания в космосе в течение 3,62 года. Аналитическое сканирование с помощью методов электронной микроскопии позволило выяснить точное происхождение 23 из 29 кратеров от соударений на отобранных элементах. Установленный химический состав следов от соударений вполне соответствовал по характеристикам соотношения космический мусор/метеорные тела прогнозным моделям потока. Кроме того, результаты исследования остаточных следов также были подвергнуты критическому анализу путем их сопоставле-

ния с результатами наземных испытаний на соударение с элементами солнечных батарей, проведенных с помощью газоплазменной пушки Кентского университета (LGG). Анализ подтвердил, что в кратерах создается аналогичные структуры, и происходят сходные химические процессы, что свидетельствует о надежности результатов микроскопного анализа. По результатам этой работы на различных конференциях был представлен ряд докладов, которые были также опубликованы в авторитетных журналах^{2,3}.

C. Моделирование среды космического мусора

Моделирование среды космического мусора, ее долгосрочной эволюции и потенциального риска для возможных будущих космических систем по-прежнему представляет собой одно из главных направлений работы исследователей космического мусора в Соединенном Королевстве. Одной из важных областей исследований является также изучение последствий постоянного появления новых объектов в околоземном космическом пространстве и, следовательно, их воздействия на среду космического мусора.

1. Моделирование источников космического мусора

Один из наиболее сложных аспектов моделирования среды космического мусора связан с созданием точных моделей сообществ частиц мусора малого размера (< 1 мм). Имеющиеся модели существенно недооценивают сообщества космического мусора таких размеров. Одна из основных причин этого связана с тем, что в моделях учитываются не все источники космического мусора. Например, в них все еще не принимаются во внимание частицы краски, отделяющиеся от поверхности находящихся на орбите космических аппаратов. Исследования, проведенные в «Куин Мери энд Вестфилд» Лондонского университета при финансировании и под руководством DERA, позволили изучить механизмы образования микромусора. В настоящее время разрабатывается модель его возникновения, в которой учитываются такие факторы, как воздействие атомарного кислорода, термоциклирование и ультрафиолетовое излучение. В целях выявления роли каждого из этих физических явлений был проведен ряд экспериментальных измерений, а данные о первоначальной подготовке поверхностей и наличии дефектов были использованы для расчета статистических распределений размеров возможных частиц микромусора. Предполагается, что разработанная модель в конечном итоге будет интегрирована в модели среды космического мусора и его эволюции, такие как Комплексный набор программ по эволюции космического мусора (IDES) DERA, и, следовательно, устранит одну из главных причин невысокой точности прогнозирования.

2. Моделирование существующей среды космического мусора на геостационарной орбите

В то время как модели среды космического мусора на низкой околоземной орбите становятся довольно точными, такие модели для геостационарных высот (т.е. для геостационарной орбиты) все еще остаются значительно более неопределенными. Консорциум, состоящий из Кентского университета, DERA, Национального управления по аэрокосмическим исследованиям (ONERA, Тулуза), Института Макса Планка (Гейдельберг) и Мэрилендского университета, заключил с ЕКА контракт на проведение работ по повышению уровня моделирования космического мусора и других факторов среды с низкой околоземной до геостационарной орбиты. В настоящее время эта работа продолжается, а соответствующий доклад будет представлен в следующем году.

3. Долгосрочная эволюция среды космического мусора

Недавно, после получения новых данных об источниках космического мусора и измерениях характеристик его среды, была усовершенствована и повторно оценена модель космического мусора DERA IDES. Контрольная дата модели была изменена на 31 марта 1998 года путем включения в нее новой предметной базы исторических данных о запусках, содержащей сведения о полетах за период с 1957 по середину 1998 года, и дополнительного моделирования процессов образования обломков, которые происходили после предыдущей контрольной даты 1 января 1996 года. В настоящее время в IDES используется недавно разработанная модель источника, основанная на использовании натриево-калиевого жидкого капельного хладонителя, которая позволила резко повысить точность прогнозирования в модели среды частиц космического мусора размером около одного сантиметра. Усовершенствованная модель космического мусора IDES широко использует-

ся для подробного изучения долгосрочной эволюции среды космического мусора на низкой околоземной орбите, а также характера влияния находящихся на этой орбите сообществ спутников и мер по смягчению воздействия космического мусора. После того, как из Национального управления США по авиации и исследованию космического пространства (НАСА) недавно были получены некоторые экспериментальные данные, модель IDES была использована в качестве вклада Британского национального космического центра (БНКЦ) в проводимое в настоящее время в МККМ международное сравнительное исследование перспективной модели космического мусора на низкой околоземной орбите. Завершение этого базового сравнительного исследования предоставит возможность провести более сложные сопоставления, основанные на использовании одинаковых рамок анализа и общих исходных данных. Проведение МККМ таких более глубоких исследований может позволить сформировать общую международную позицию по таким важным вопросам как эффективность различных мер по смягчению воздействия космического мусора, реализуемых в системах спутников общего назначения и сообществах коммерческих спутников.

Успех модели DERA IDES склонил ЕКА и Европейский центр космических операций (ЕСОК) к тому, чтобы предоставить контракт на разработку варианта IDES, адаптированного к их потребностям. Новая модель, которая будет предоставлена ЕКА в начале 2000 года, получила название "Долгосрочный анализ среды космического мусора" (DELTA). DELTA будет использовать данные об исходном сообществе космического мусора, рассчитанные с помощью разработанной ЕКА Эталонной модели земной среды метеорных тел и космического мусора (MASTER), недавно обновленной в Германии Брауншвейгским техническим университетом. С помощью DELTA будут составляться долгосрочные прогнозы на период в следующие 100 лет для среды частиц космического мусора размером более 1 мм на низкой околоземной орбите и соответствующих рисков их столкновения с космическими аппаратами. Основные преимущества модели DELTA связаны с повышением точности и скорости расчета долгосрочного изменения орбиты; высокой степенью разрешения модели интенсивности будущих запусков; разбивкой смоделированных прогнозов на различные компоненты источников космического мусора; и прямым прогнозированием процесса каскадных столкновений. В целом, ЕКА DELTA должна быть наиболее передовой моделью, предлагающей более богатые возможности, чем другие модели.

Исследователи в колледже "Куин Мэри энд Вестфилд" Лондонского университета продолжали работу над своим новым методом прямого моделирования космического мусора Монте-Карло (DSMC). С помощью статистического анализа эта модель позволяет прогнозировать долгосрочную эволюцию среды орбитального космического мусора в целях более точной оценки риска для космических аппаратов. Эту задачу можно решить, предположив, что для целей моделирования отдельные частицы могут представлять реальное сообщество космического мусора. Вероятность столкновения с космическим мусором оценивается довольно точно с помощью стандартной кинетической теории частиц. Рост сообщества космического мусора прогнозируется с использованием комбинации из модели разрушения космического аппарата, модели вероятности столкновения и модели аэродинамического сопротивления при сходе с орбиты частиц космического мусора. Модель DSCM была оценена путем сопоставления прогнозов с результатами экспериментов по изучению соударений с установленной на спутнике платформой, подвергавшейся длительному внешнему воздействию космической среды (LDEF). Полученные с помощью этой модели прогнозные значения были также использованы для расчета "окон" для запуска МТКК "Спейс шаттл", нуждающихся в замене и эти значения сопоставлялись с фактическими данными. Недавно началась работа по расширению модели среды, с тем чтобы включить в нее природные микрометеориты. Информация о разработке модели космического мусора DSMC опубликована в одном из известных журналов по космической тематике⁴.

При проведении исследований в департаменте аэрокосмической техники университета в Глазго основное внимание уделялось изучению долгосрочной эволюции крупного сообщества наноспутников на земной орбите с использованием аналитических методов закрытых форм. Эта работа вызывает растущий интерес, поскольку наноспутники считаются одним из недорогих средств, позволяющих использовать полеты для широкого спектра новых прикладных целей. Будущие системы наноспутников могут состоять из многих тысяч спутников каждый массой от 0,001 кг до 1 кг. Весьма возможно, что активного контроля за полетом этих спутников производиться не будет, и эволюцию сообщества будут определять такие факторы среды как, например, сопротивление воздуха. Осуществляемое в Глазго моделирование направлено на обеспечение эволюции средней пространственной плотности типичного сообщества под воздействием сопротив-

ления воздуха с учетом возможного выхода из строя находящихся на орбите спутников и запуска новых спутников для пополнения численности сообщества. Один из наиболее интересных полученных результатов свидетельствует о том, что при определенных обстоятельствах численная плотность наноспутников с течением времени уменьшается, а ее пиковые значения, как правило, отмечаются на большем удалении от земной поверхности. С помощью разработанных методов можно также рассчитать темпы размещения новых наноспутников, необходимые для сохранения сообщества. Результаты исследования должны быть опубликованы в одном из авторитетных журналов⁵.

4. Краткосрочные риски, создаваемые космическим мусором для космических объектов

Саутгемптонский университет активно работает над составлением оценок краткосрочного риска, создаваемого космическим мусором для крупных космических объектов. Недавно в эти оценки был включен анализ риска столкновения для сообщества из 800 спутников (на основе первоначальной конфигурации Теледиск) и для новой МКС. В обоих случаях при составлении оценки использовалось программное средство моделирования космического мусора SDS, разработанное в Саутгемптонском университете по контракту с DERA. При оценке риска рассматривались два сценария потенциальной угрозы: а) разрушение одного из спутников сообщества и б) разрушение ракеты-носителя сообщества. Было установлено, что краткосрочный риск столкновения для сообщества является невысоким. Из всех рассмотренных сценариев наибольшую угрозу для системы создавало разрушение одного из спутников сообщества в результате столкновения. При оценке риска для МКК учитывалась угроза, создаваемая разрушением одной из последних ступеней ракеты или космического аппарата, находящегося на соседней орбите. Проведенные тематические исследования позволили рассчитать, что в краткосрочном плане вероятность соударений в результате столкновения МКС с облаком осколков на четыре порядка выше, чем вероятность соударений с фоновым сообществом космического мусора. Результаты этих исследований были опубликованы в одном из авторитетных журналов и представлены на крупных международных конференциях^{6,7}.

D. Защита космических аппаратов от столкновения с космическим мусором

Другая область исследований, в которых принимает активное участие Соединенное Королевство, связана с защитой космических аппаратов от соударений на гиперзвуковых скоростях с космическим мусором.

1. Испытание на соударение с гиперзвуковой скоростью

Консорциум в составе "Матра Маркони Спейс" (MMS), DERA, Кентского университета и "Флюид Грэвити Инжиниринг" заканчивает в рамках двухлетнего контракта с ЕКА работу по созданию эффективных методов защиты от космического мусора для беспилотных космических аппаратов. Ввиду наличия ограничений по стоимости и массе, касающихся конструкции типичного космического аппарата, число надежных вариантов защиты является весьма ограниченным. Консорциум предложил новый комплекс вариантов защиты от космического мусора, которые могут повысить живучесть будущего космического аппарата и включают следующие решения: замену стандартной однослойной алюминиевой сотовой структуры, обычной для многих космических аппаратов, двухслойной структурой; и добавление слоев ткани Бета к многослойному теплоизоляционному покрытию спутника. Были изготовлены опытные образцы защиты, которые затем были испытаны на соударения с гиперзвуковой скоростью с использованием LGG. Результаты этих испытаний позволили вывести уравнения баллистического предела для каждого нового типа защиты. Эти уравнения предоставляют возможность прогнозировать поведение защиты после ее установки на спутнике. При выполнении остальной части контракта для количественного выражения эффективности затрат для разработанных вариантов защиты будет проведен анализ соотношения рисков и затрат. И, наконец, для проектировщиков космических систем будут разработаны руководящие принципы отбора наиболее эффективных вариантов защиты и их размещения для конкретной конструкции космического аппарата.

2. Моделирование живучести спутника

DERA продолжило работу над созданием нового программного модуля, получившего название SHIELD. SHIELD предназначен для определения оптимальной стратегии защиты от космического мусора для конкретного спутника. В целях проведения автоматического поиска и оценки многих тысяч различных вариантов конфигурации оборудования внутри трехмерной геометрической модели корпуса спутника, а также многочисленных вариантов установки на спутнике защиты и ее размещения будет использоваться генетический алгоритм. При проведении анализа используется новая метрика живучести, позволяющая быстро определять степень эффективности каждого решения. В этой метрике в качестве одного из элементов исходных данных используется рассчитанный на основе метода Монте-Карло порядок распределения по корпусу спутника проникающих соударений космического мусора, который в свою очередь был рассчитан с помощью данных о направлении потоков космического мусора, спрогнозированных с использованием модели DERA IDES. Метрика создана таким образом, что она позволяет выяснить, достаточно ли надежно защищены установленным рядом оборудованием важнейшие элементы и оправдывают ли дополнительная защита увеличение массы и стоимости. Следовательно, модель позволяет найти наиболее эффективное решение для обеспечения максимальной защиты наиболее важного оборудования. Предусматривается, что в конечном итоге модель можно будет использовать в качестве дополнительного средства проектирования на первых этапах разработки спутника, когда еще остается достаточно возможностей для внесения изменений в конструкцию. Версия 0.1 SHIELD только что была закончена и теперь она готова для проведения испытаний. Результаты этой работы были опубликованы в качестве специального доклада на одной из крупных конференций по космической тематике, а также в авторитетном британском военном журнале^{8,9}.

3. Моделирование в гидрокоде

Для минимизации риска соударений в случае будущих длительных космических полетов, совершаемых, в частности, пилотируемыми космическими аппаратами большое значение имеет создание новых амортизирующих защитных покрытий с использованием таких новых материалов как нектель и кевлар. Поэтому для получения оптимальной конструкции защитного покрытия необходимо изучить реакцию этих новых материалов на соударения на гиперзвуковых скоростях. Для проверки поведения этих защитных покрытий на скоростях, типичных для соударений орбитального космического мусора (>10 км/сек), необходимо осуществлять программное моделирование в гидрокоде. Для этого гидрокоды используют модели поведения материалов в условиях высокого давления и напряжения. Материальные модели уже разработаны для алюминия - стандартного материала, используемого на космических аппаратах, однако для кевлара и нектеля такие модели пока еще созданы. Британская компания "Сенчури Дайнемикс" разрабатывает по контракту с ЕКА материальные модели для этих конкретных материалов. Качество разработанных моделей было продемонстрировано на примере сопоставления результатов моделирования в гидрокоде с данными об испытаниях на соударение. Доклад об исследовании был представлен на одном из крупных международных симпозиумов и впоследствии выдвинут на получение премии за наиболее интересную работу¹⁰.

"Сенчури Дайнемикс" также много работала над усовершенствованием своего собственного программного пакета для гидрокода, получившего название Autodyn. Продолжается осуществление долгосрочной программы проведения исследований и разработки метода плавной гидродинамики частиц (SPH), которая финансируется как из собственных средств, так и из бюджета министерства обороны и DERA. В частности, в настоящее время в Autodyn реализуется и проходит проверку трехмерных вариант SPH. Сейчас Autodyn приобретает все больший авторитет во всех странах мира, а в прошлом году ЕКА и НАСА приобрели лицензии на установку мощного компьютерного оборудования.

Примечания

¹ J.A.M. McDonnell and others, "APSYS- Aerogel position-sensitive impact sensor: capabilities for in-situ collection and sample return", сигнальный экземпляр.

² G.A. Graham and others, "Hypervelocity impacts in low Earth orbit: cosmic dust versus space debris", *Advances in Space Research*, vol. 23, No. 1, 1999, pp. 95-100.

³ G.A. Graham and others, "Natural and simulated hypervelocity impacts into solar cells", будет опубликовано в *International Journal of Impact Engineering*

⁴ G.L.Wang and J.P.W.Stark, "Direct simulation of space debris Evolution", *Journal of Spacecraft and Rockets*

⁵ C.R. McInnes, "A simple analytical model of the long term evolution of nanosatellite constellations", будет опубликовано в *Journal of Guidance, Control and Dynamics*.

⁶ G.G. Swinerd, S.P. Barrows, and R. Crowther, "Short-term debris risk to large satellite constellations", *Journal of Guidance, Control and Dynamics*, Vol.22, No.2, 1999, pp. 291-295.

⁷ G.G. Swinerd, S.P. Barrows, and P.H. Stokes, "Short-term debris risks to the International Space Station arising from a spacecraft fragmentation", доклад, представленный на сорок девятом Международном астронавтическом конгрессе, Мельбурн, Австралия, 28 сентября - 2 октября 1998 года, доклад No. IAA-98-IAA.6.4.04.

⁸ P.H. Stokes and others, "Novel modelling solutions for debris risk reduction", *Advances in Space Research*, Vol.23, No.1, 1999, pp. 231- 241.

⁹ P.H. Stokes and others, "Protecting satellites against orbital debris", *Journal of Defense Science*, Vol.4, No.2, 1999, pp. 121-131.

¹⁰ C.J. Hayhurst and others, "Development of material models for Nextel and Kevlar-epoxy for high pressures and strain rates", доклад, представленный на Симпозиуме по соударениям на гиперзвуковых скоростях, состоявшемся в Хантсвилле, Алабама, Соединенный Штаты Америки в ноябре 1998 года, доклад No. 1044.