

УДК. 504.05

МИКРОМЕТЕОРОИДЫ И ЧАСТИЦЫ КОСМИЧЕСКОГО МУСОРА КАК ВОЗДЕЙСТВУЮЩИЙ ФАКТОР КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА. ИЗМЕРЕНИЕ ИХ ПАРАМЕТРОВ

К.Е. Воронов

Самарский университет, г. Самара

В настоящее время космические аппараты (КА) проектируются с учетом их длительного пребывания в космическом пространстве. При их проектировании закладываются типовые сроки функционирования длительностью 10 - 15 лет. Характерным условием является негерметичность их конструкции, широкое использование новых полимерных композиционных материалов. При этом все элементы конструкций таких аппаратов в процессе полета подвергаются влиянию факторов космического пространства.

Факторы космического пространства можно условно разделить на две группы: естественные и искусственные. [1]

К естественным факторам относятся естественные радиационные пояса Земли, галактические и солнечные космические лучи, космическая плазма, тепловое излучение Солнца, планет и космического пространства, метеориты (метеороиды), космический вакуум, электромагнитное излучение, электростатическое и магнитное поля.

К искусственным факторам относятся искусственные радиационные пояса Земли, невесомость, собственная внешняя атмосфера, замкнутый объем, космический мусор, акустика, вибрация, перегрузки, тепловое воздействие, аэрогазодинамические факторы.

Плотность потоков частиц космического мусора на околоземной орбите превышает потоки частиц естественного происхождения метеороидов.

К метеороидам относятся движущиеся в Солнечной системе тела с поперечными размерами от нескольких десятков метров до долей микрометра. Скорости метеорных тел относительно Земли лежат в интервале $\sim 10 - 70 \text{ км} \cdot \text{с}^{-1}$ в зависимости от направления.

Частицы техногенного происхождения - космический мусор (КМ), образуются в процессе эксплуатации космической техники. Скорости взаимодействия с ними космических объектов могут лежать в диапазоне $\sim 0,1 - 16 \text{ км} \cdot \text{с}^{-1}$.

Основной проблемой космического мусора является то, что объекты могут достаточно долго находиться на орбите. И если объекты с высотой орбиты менее 600 км за счет тормозящего эффекта атмосферы постепенно снижаются и сгорают (при высоте орбиты меньше 200 км — за несколько

дней, а при высоте от 200 до 600 км — до нескольких лет), то объекты с высокой орбиты более 800 км могут находиться на орбите столетиями.

При скоростях взаимодействия 20 км/с и 10 км/с, принятых, соответственно, для микрометеороидов и частиц космического мусора, даже если не наблюдается сквозное пробитие элемента, на поверхности материалов образуются кратеры, а при множественных ударах происходит эрозия поверхности и частично теряется масса материала.

В наибольшей степени страдают от такого воздействия различные оптические элементы: иллюминаторы космических кораблей, линзы приборов, зеркальные отражатели и т.п., а также элементы высоковольтного электротехнического и радиотехнического оборудования КА, в которых удары высокоскоростных частиц могут инициировать электрические пробои. [2]

Для прогнозирования воздействия метеороидов и частиц космического мусора на КА созданы программные и расчетные модели, описывающие закономерности движения твердой составляющей на околоземной орбите. Это стандарты космической среды (ГОСТ Р 25645.167-2005 ОСТ 134-1022-99), модели Грюна (Meteoroid Engineering model (MEM 2.1) и другие.

Последние десятилетия характеризуются значительным увеличением количества твердых частиц в околоземном пространстве. По данным А.Н. Назаренко, на работах которого основаны существующие Российские стандарты (например ГОСТ Р 25645.167-2005), приводится следующая оценка потоков КМ, результат показан на рисунке 1.

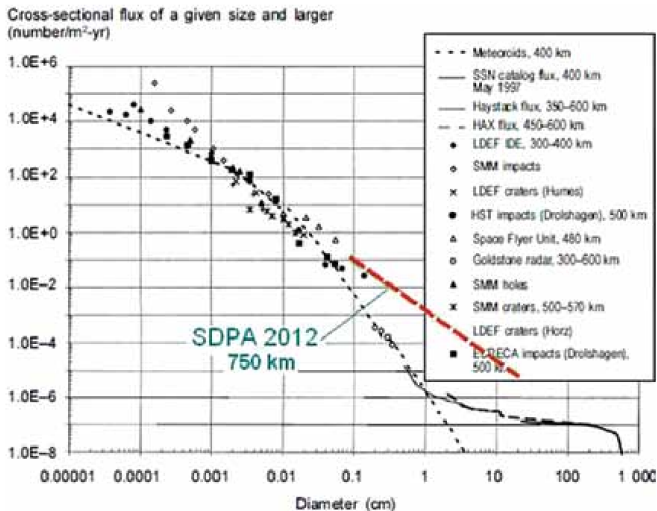


Рисунок 1 - Пример модели расчета воздействующих на КА потоков КМ

С увеличением срока функционирования космических аппаратов увеличивается как вероятность взаимодействия с частицами космического мусора, так и интегральное воздействие частиц микронного размера на материалы и элементы поверхности космического аппарата.

Уровень техногенного загрязнения ОКП меняется во времени, что приводит к необходимости отслеживать эти изменения. За последнее десятилетие произошел значительный скачок засоренности области низких околоземных орбит (НОО) (до 2000 км), связанный с двумя катастрофическими событиями:

1) преднамеренное разрушение китайского спутника Fengyun-1C 11.01.2007, в результате которого образовалось более 3000 каталогизированных объектов КМ;

2) столкновение американского действующего спутника связи Iridium 33 и российского неактивного КА Космос – 2251 10.02.2009 на высоте около 780 км, в результате которого образовалось более 2000 каталогизированных объектов КМ.

Для создания актуальной модели распределения и оценки воздействия, необходим большой объем исходной информации. Крупные космические объекты каталогизируются. Мониторинг частиц размером меньше сантиметра невозможен наземными средствами наблюдения. При этом, по высказываниям того же А.И. Назаренко [3], наблюдается недостаток в экспериментальных данных, и при создании моделей взаимодействия часто привлекается дополнительная (априорная) информация.

Поэтому разработка и изготовление специализированных бортовых измерительных комплексов для измерения параметров микрометеороидов и частиц КМ является актуальным. Особенно важны многоточечные измерения с использованием датчиков с большими чувствительными поверхностями, позволяющими существенно увеличить объем получаемой экспериментальной информации.

Анализ современного состояния космического приборостроения, направленного на исследование метеороидов и частиц космического мусора, показывает, что в настоящий момент времени наблюдается новый виток развития, обусловленный рядом причин:

1. Подтверждение реальности проблемы космического мусора, связанной с резким скачком концентрации частиц в результате разрушения двух спутников.

2. Быстрого развития техники и технологии, связанной с расширением вычислительных возможностей бортовых устройств и их микроминиатюризацией, появление возможности быстрого создания относительно недорогого устройства и проведение космического эксперимента.

3. Активное развитие университетской науки, основанной на возможности широкого использования созданного нового класса автономных космических устройств – наноспутников формата CubeSat. И, как результат, привлечение активной части молодых исследователей, поиск научных и научно-технических задач для созданного класса спутников. При этом наблюдается тенденция повторного создания устройств регистрации на относительно простом технологическом уровне с использованием доступных технологий (создание резистивных и пьезоэлектрических датчиков).

4. Широкое использование существующих программных продуктов, позволяющих проводить как моделирование сложных физических процессов в чувствительном элементе, так и создание электронных устройств управления, хранения, приема-передачи результатов измерения.

Следует отметить, что этот новый виток сопровождается не только значительной технологической разнообразностью, но и большим разбросом в подходах, используемых технологиях, средствах конструирования, что уже само по себе представляет интересный результат.

В институте космического приборостроения Самарского университета, в течение длительного промежутка времени, основной научной тематикой является исследование метеорного вещества, микрометеороидов и частиц космического мусора.

Целью ряда работ являлось создание многопараметрических преобразователей, основанных на совокупности физических эффектов и обеспечивающих максимальную чувствительность и информативность. В ходе работ проводились экспериментальные исследования с широким кругом чувствительных элементов - резистивными, люминесцентными, конденсаторными и комбинированными люминесцентно-конденсаторными датчиками, активно использовались тонкопленочные МДМ структуры в виде конденсаторных датчиков, были созданы комбинированные ионизационно-конденсаторные датчики.

Был проработан проект создания МКА научного назначения с большими площадями чувствительной поверхности для исследования распределения высокоскоростных микрометеороидов и частиц КМ на срезах высот.

Проводились работы по созданию фотоэлектрического датчика с малой чувствительной областью и стереоскопической системы регистрации низкоскоростных пылевых частиц собственной внешней атмосферы КА с расширенной зоной регистрации.

Из последних работ можно отметить экспериментальную отработку конструкций ионизационных, ионизационно-конденсаторных датчиков, предназначенных для регистрации микрометеороидов и частиц космического мусора. Ионизационные методы регистрации параметров микрочастиц обладают наивысшей чувствительностью, а создание

комбинированного датчика позволяет увеличить количество регистрируемых параметров и достоверность регистрации в целом. Примеры разработок приведены на рисунке 2.

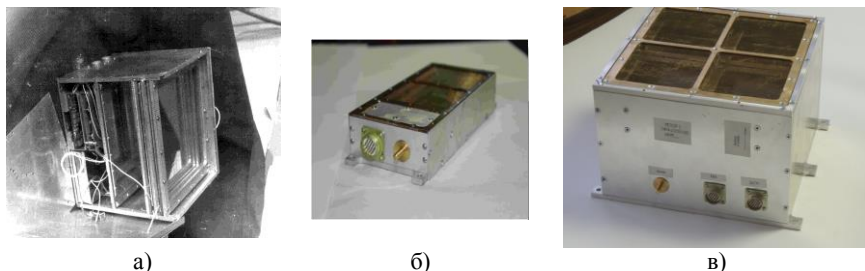


Рисунок 2 - а) - ионизационно-конденсаторный датчик, устанавливаемый на КА «Горизонт 41», «Горизонт 43», б) - ионизационный датчик «Метеор» МКА «АИСТ 1Л», «АИСТ 1Т», в) - научная аппаратура «Метеор-М» МКА «АИСТ 2Д»

Следующим примером научной аппаратуры (НА) является НА «ДЧ Оптика». Ее назначение - исследование процесса кратерообразования и переосаждения продуктов собственной внешней атмосферы КА. В основе работы измерительного датчика лежит пространственно-угловой метод измерения индикатрисы рассеивания на кратере, возникшем в результате взаимодействия между высокоскоростной микрочастицей и оптическим элементом – оптическим стеклом. Образец приведен на рисунке 3а. Еще одним интересным примером разработки приборов для исследования элементного состава материала высокоскоростной частицы является пылеударный масс-спектрометр. Макет прибора показан на рисунке 3б.

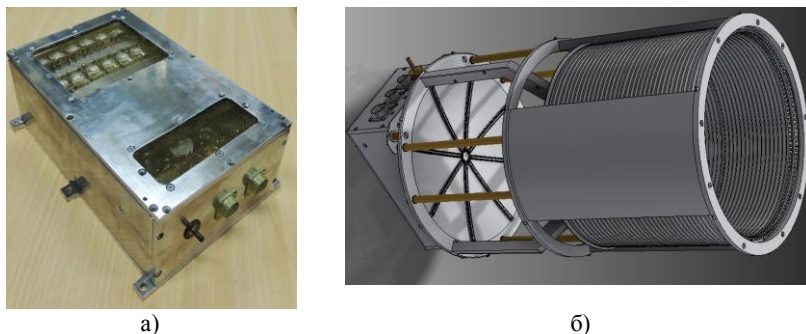
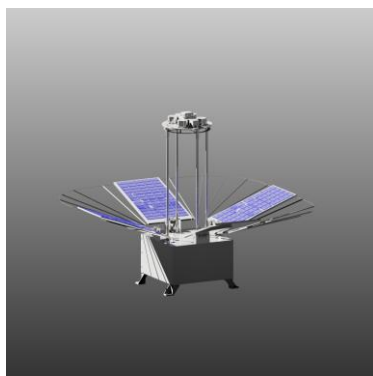
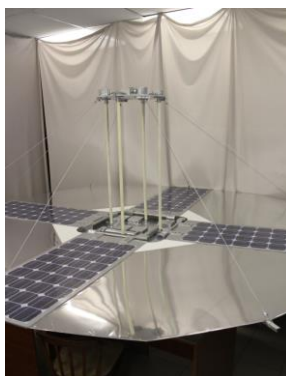


Рисунок 3 - а) НА «ДЧ Оптика», МКА «АИСТ 2Д»; б) макет пылеударного масс-спектрометра

Для увеличения информативности исследований предлагается использовать малый космического аппарата с большой площадью регистрирующей поверхности. По своей сути данный МКА является большим многопараметрическим детектором с собственной системой ориентации. Метод регистрации микрометеороидов и частиц космического мусора комбинированный и основан на регистрации ионного тока ударной плазмы, которая образуется при высокоскоростном соударении частицы с поверхностью секций солнечной батареи и конденсаторной МДМ структуры - пленки, натянутой между ними. На выносном основании (рисунок 4) размещены четыре микроканальные пластины, которые являются приёмником ионного тока. Сигналы со всех четырёх микроканальных пластин объединяются и обрабатываются в блоке управления.



а – модель



б – натурный макет

Рисунок 4 - МКА научного назначения

В наших планах на ближайшее время входит создание серии цифровых, функционально законченных датчиков, ориентированных на установку на наноспутники формата CubeSat. Разработка таких модулей позволит увеличить возможности проведения экспериментов на спутниках университетского уровня, выводимых в качестве попутного груза, расширит географию точек измерения и их количество. Модули будут комплектоваться встроенной системой определения пространственного положения для осуществления привязки результатов измерения к области пространства и времени.

Одним из таких проектов является создание многослойного резистивно-конденсаторного датчика на полубесконечной преграде. Датчик имеет слоистую структуру (рисунок 5а), состоящую из нанесенных на поверхность пленочных резисторов и одного или нескольких проводящих

слоев, которые образуют многообкладочный конденсатор – многослойную МДМ (металл-диэлектрик-металл) структуру. При высокоскоростном столкновении происходит разрыв пленочных резисторов и электрический пробой многослойного конденсатора. По глубине проникновения и диаметру кратера определяются параметры частицы. Реализация в формате CubeSat показана на рисунок 5б.

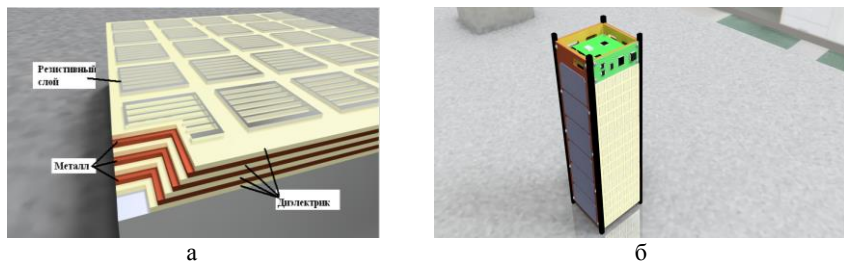


Рисунок 5 - Макет многослойного МДМ датчика и его установка на CubeSat

Другим вариантом является научная аппаратура «SPACE DUST (SD)». Она также предназначена для регистрации соударения высокоскоростных микрочастиц и ориентирована уже на малые космические аппараты.

НА состоит из блока электроники и блока датчиков (на рисунке 6 показан блок электроники и блок датчиков с двумя чувствительными поверхностями. Блок датчиков выполнен в виде многослойной МДМ структуры) и может быть модифицирован под размеры свободной поверхности космического аппарата, что позволяет обеспечить оптимальное размещение датчика на борту космического аппарата.

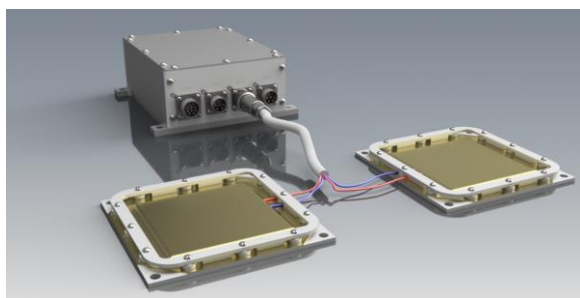


Рисунок 6 - Макет научной аппаратуры «SPACE DUST»

Список использованных источников

1. Проектирование испытательных стендов для экспериментальной отработки объектов ракетно-космической техники / А.Г. Галеев, Ю.В.

Захаров, В.П. Макаров, В.В. Родченко. – М.: Издательство МАИ, 2014. – 283 с.: ил.]

2. Исследование процессов образования кратеров в пластичных мишенях при высокоскоростном ударе. С.А. Бедняков, Л.С. Новиков, И.К. Ермолаев, Г.Г. Бондаренко, А.И.Гайдар, Е Ицун, Ван Либо.

3. Доклад "Актуальные вопросы моделирования техногенного загрязнения околоземного космического пространства." А.И. Назаренко. Центр космических наблюдений Росавиакосмоса.

УДК 621.396

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ПОСТРОЕНИЮ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СЕТЕЙ СВЯЗИ

Д.В. Купер

Филиал ФГУП НИИР – СОНИИР, г. Самара

Разработка и внедрение технологических сетей связи является одним из самых распространенных видов ОКР в практике отраслевых НИИ, КБ и проектных институтов. Основной причиной этого является стремительное развитие всех инфраструктур государства имеющее место в последние десятилетия [1]. Речь идет о росте объемов характеризующих процессы добычи, переработки и транспорта природных ресурсов, развитии и перевооружении высокотехнологичных производств, расширении транспортно-коммуникационной среды государства.

Традиционно принято считать, что технологические сети – практически замкнутые системы, имеющие ограниченное количество точек соприкосновения с системами связи общего назначения и, что весьма характерно, построенные на основе индивидуальных архитектурно-иерархических и тактико-технологических принципах, ориентированных на соответствие критериям качества конкретного заказчика [2].

Действительно, в настоящее время весьма затруднительным является формулирование единых правил построения таких систем, в силу принципиальной невозможности унификаций критериев качества функционирования, таких как, надежность, живучесть, резервируемость и реконфигурируемость, требующих для своей реализации, с учетом реальных условий функционирования, решений, зачастую весьма нетривиальных.

Однако, на современном этапе развития инфокоммуникаций, характеризующимся конвергенцией технологий и сервисов, унификацией протоколов и доминирующим характером идеологии широкополосного доступа, можно уверенно отметить ряд тенденций, которые однозначно позволяют констатировать то, что построение рассматриваемых систем уверенно выделяется в самостоятельную предметную область со своим,