



Совершенствование стойкости прецизионных конструкций космического аппарата к ударам космического мусора и микрометеороидов за счёт внедрения композиционных материалов

Докладчик: Халтурина Ольга Дмитриевна

Организация: МГТУ им. Баумана, факультет Специальное машиностроение

Курс: второй, магистратура

Научный руководитель: Думанский Александр Митрофанович

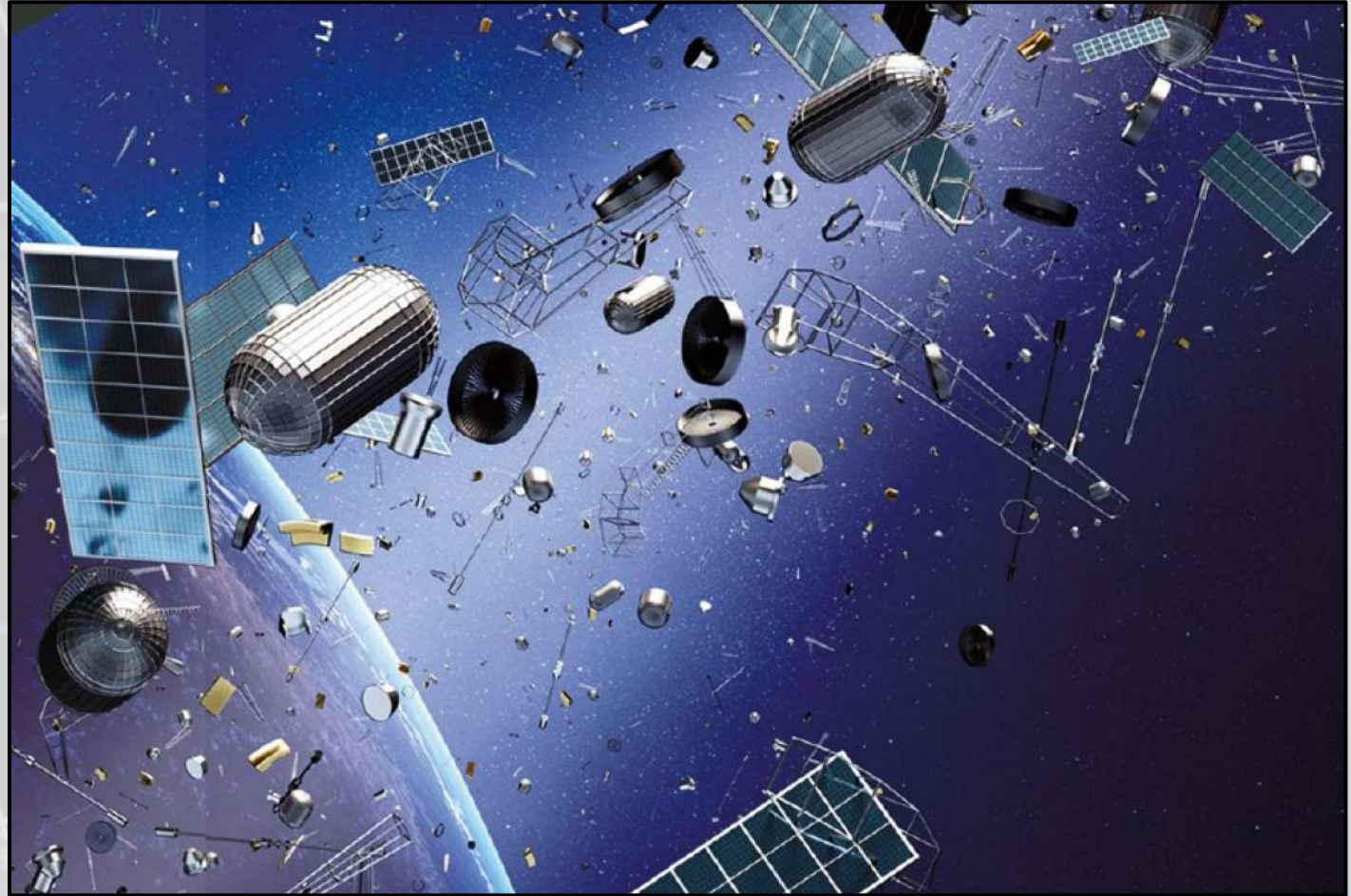
Цели и задачи

- обзорно-аналитическое исследование характеристик околоземного космического пространства на предмет метеорно-техногенных факторов, методов диагностики их распределения, риска столкновения с действующими КА и существующих способов защиты;
- симуляция соударения ударника из сплава АМгб, имитирующего космический мусор с мишенью из полифениленсульфида (ПФС);
- сформулированы рекомендации по улучшению прочностных характеристик материала СЧ КА, его стойкости к внешним высокоскоростным воздействиям при обеспечении оптимальной массовой и прочностной эффективности.

Актуальность

Космический мусор - искусственные объекты, являющиеся опасным фактором воздействия на функционирующие космические аппараты.

- ✓ 6000 запусков;
- ✓ 20000 единиц ПН;
- ✓ единиц КМ;

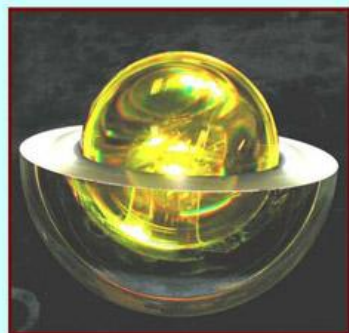


(* Nasa Orbital Debris Program Office)

Актуальность

метрологический спутник «Блиц»

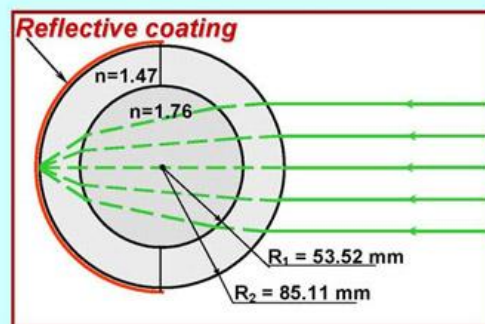
(шар диаметром 17 см и массой 7,8 кг) разрушен при столкновении с микрочастицей массой $\sim 0,035$ г размером ~ 3 мм при относительной скорости столкновения $\sim 12,3$ км/с



dissembled



Ready for testing



американский коммуникационный спутник Telecom-1A

был выведен из строя микрометеороидом



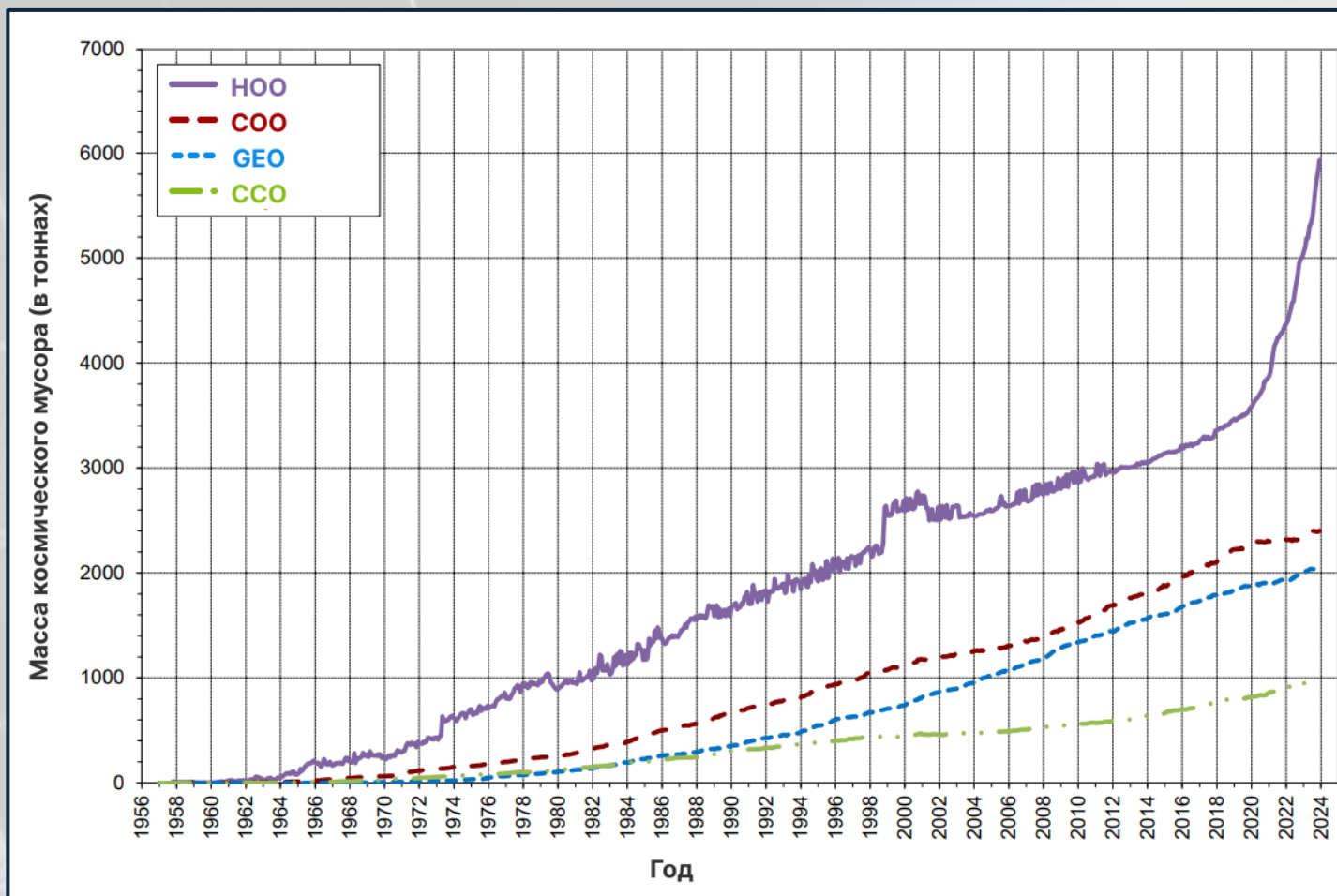
Актуальность

к 1995 г. после 70 полётов шаттла было
заменено 60 иллюминаторов из-за повреждений от
ударов КМ



Сквозное отверстие в радиаторной панели шаттла
«Индевор», образовавшееся при столкновении с фрагментом
космического мусора.

Актуальность



Распределение космического мусора в околоземном пространстве

(* Nasa Orbital Debris Program Office)

Актуальность

- 1) LMRO – запуски КА;
- 2) EXPL – последствия взрывов объектов на орбите;
- 3) PAFL – естественный износ поверхностей;
- 4) SRMS – частицы, образовавшиеся в результате работы твёрдотопливных двигателей;
- 5) MTBG – метеориты;
- 6) EJEC – последствия ударов частиц КМ о поверхность КА;
- 7) CLOUD – микрочастицы КМ;
- 8) MLI – разрушение многослойной изоляции;

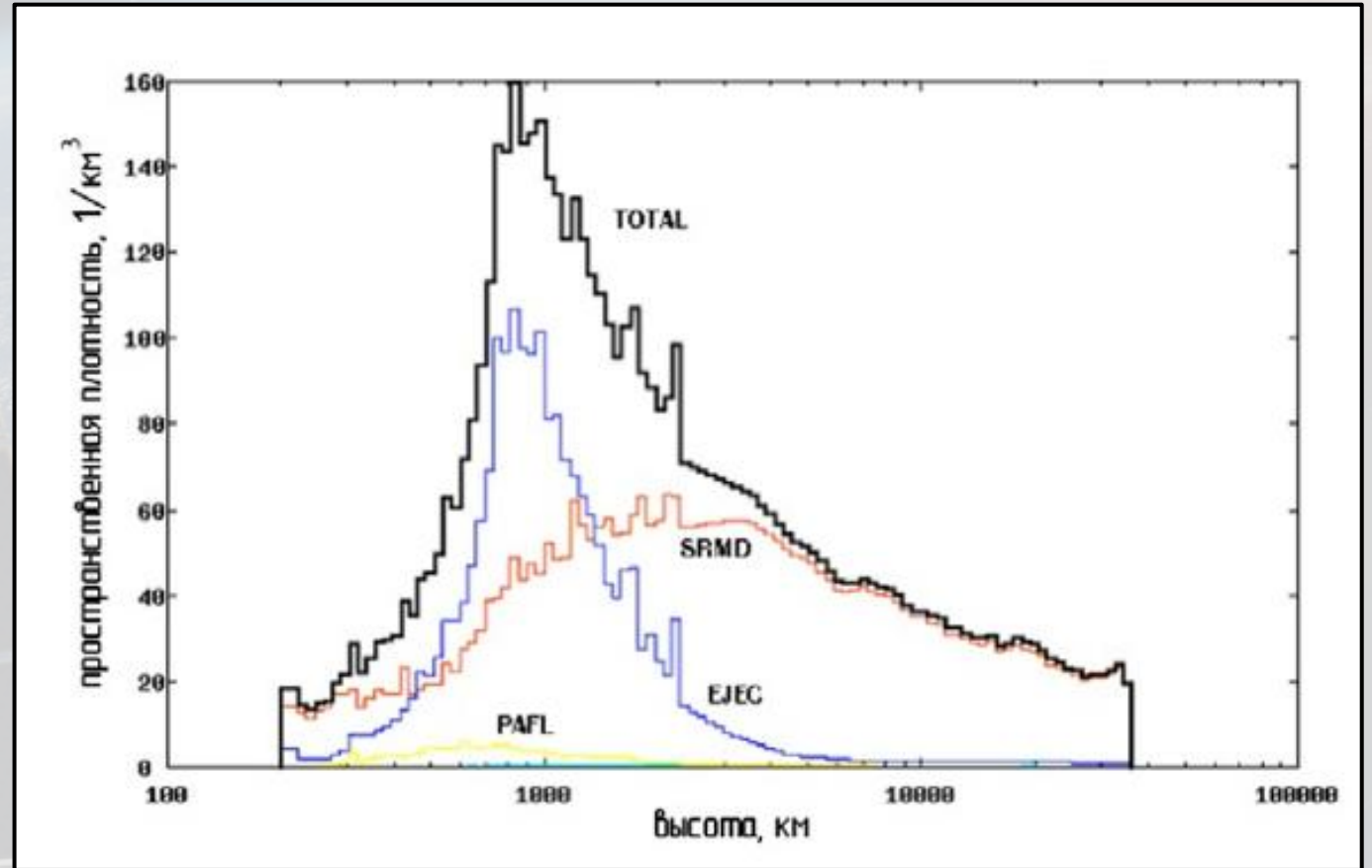
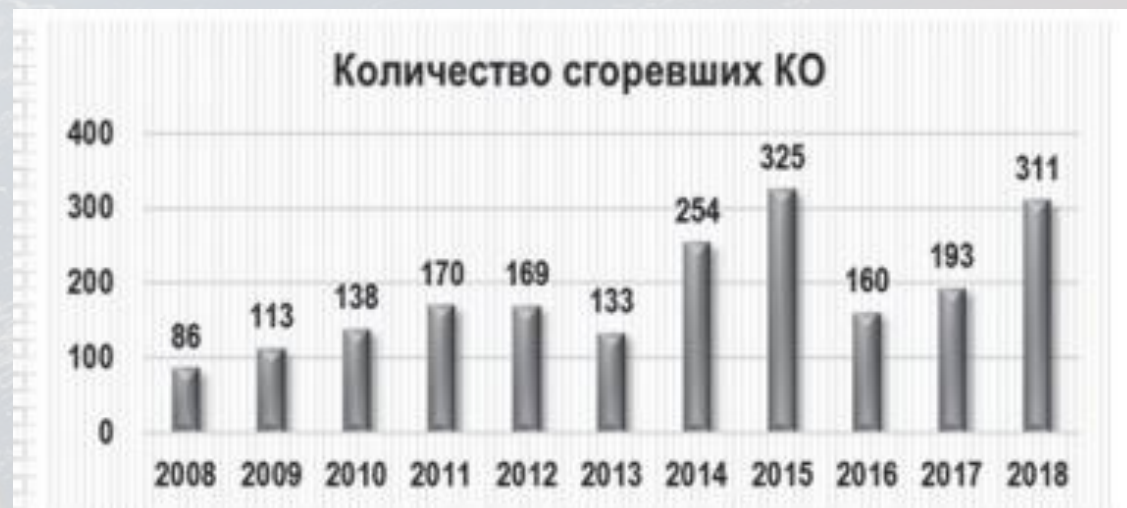


График зависимости плотности распределения космического мусора космического согласно модели MASTER

Актуальность

70% объектов на НОО и 30 % на ССО и ГЕО

На высотах выше 600 км регистрация МТТ менее 1 мм затруднена



Анализ источников

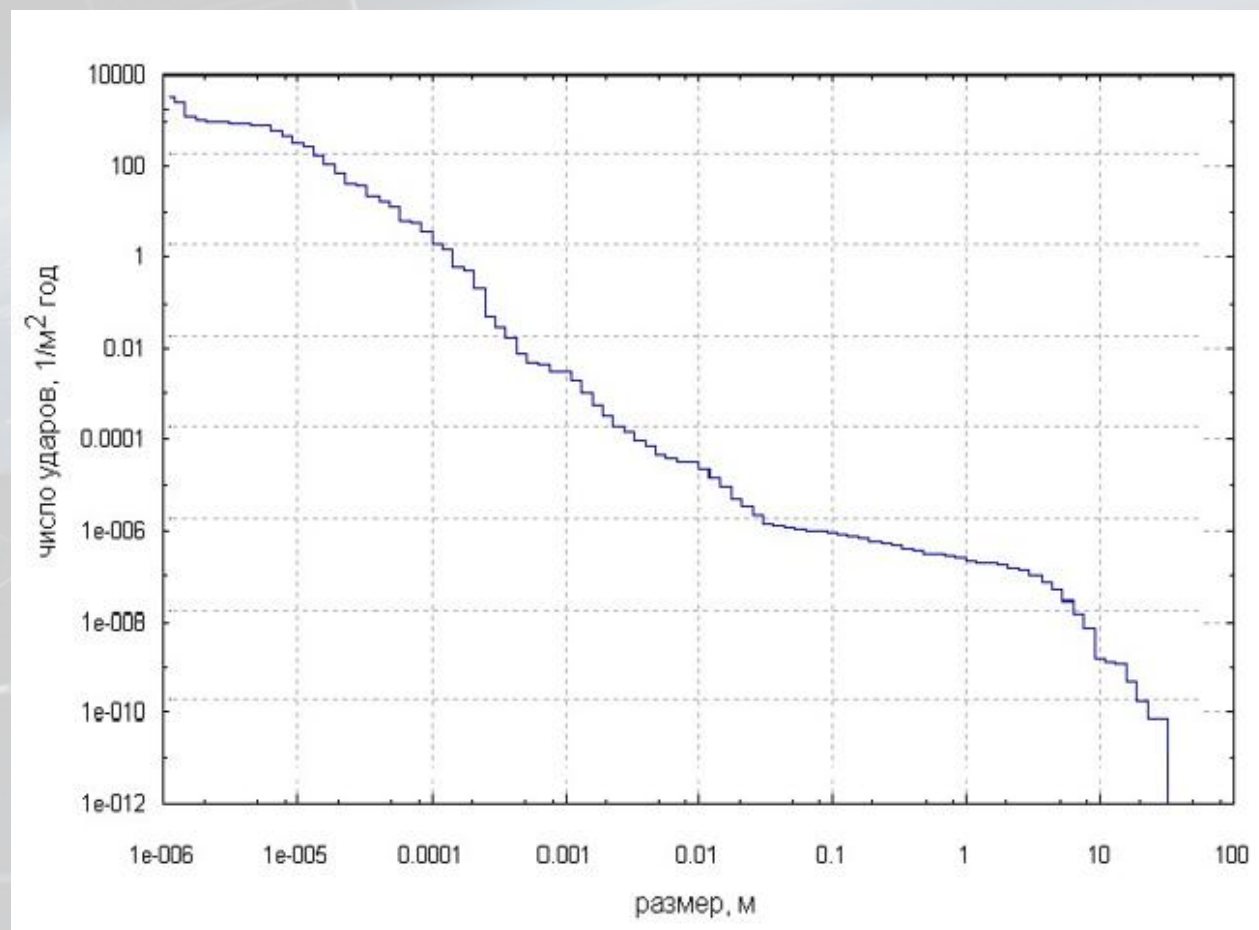


Концентрация МТТ разных типов в зависимости от орбиты

Размер, см	0,1	0,2	0,5	1	5	10	20
$N_{\text{ср}}$	220	325	5,2	0,854	0,123	0,052	0,038

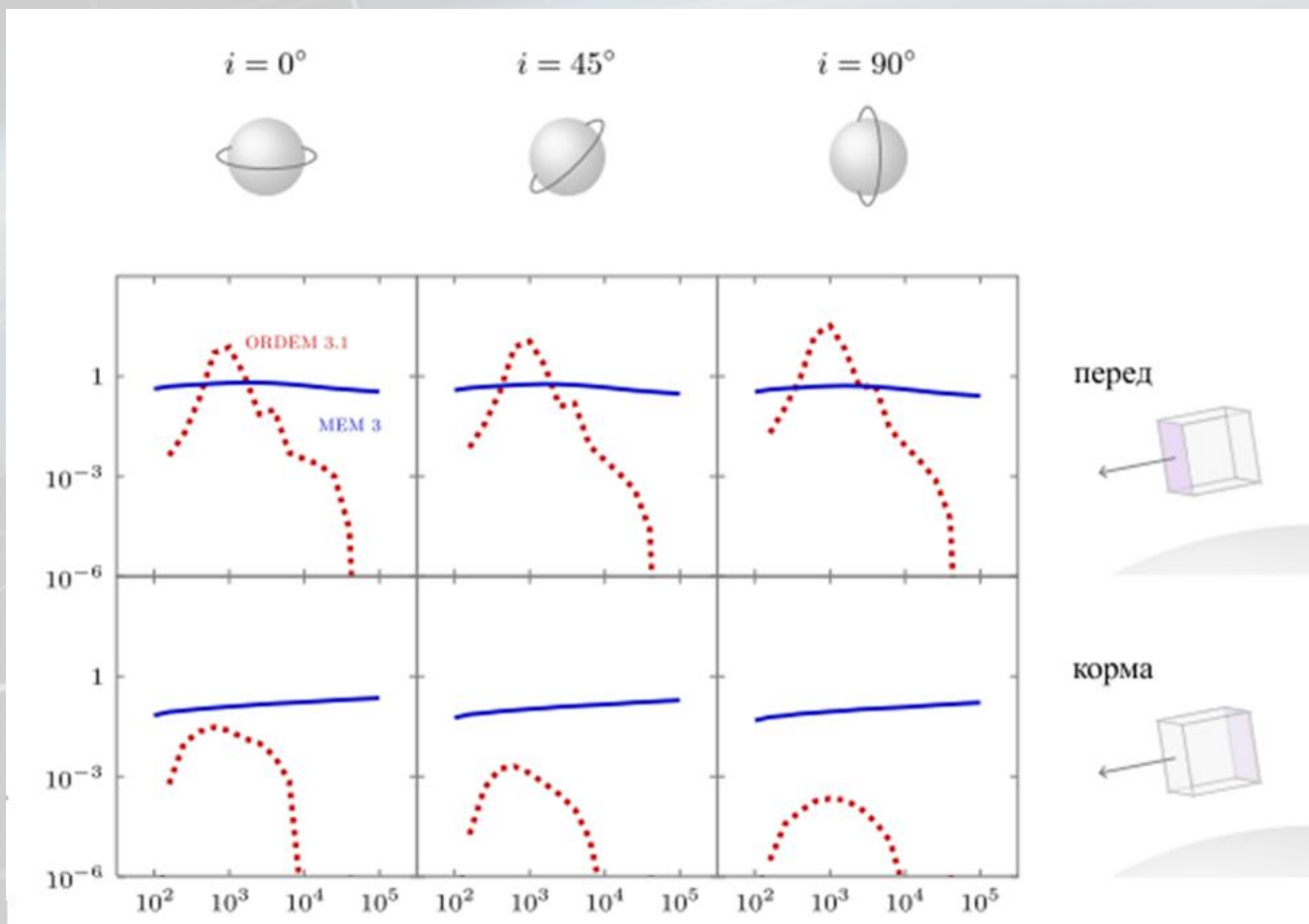
Среднее число столкновений $N_{\text{ср}}$ с частицами МТТ разных размеров

Анализ источников



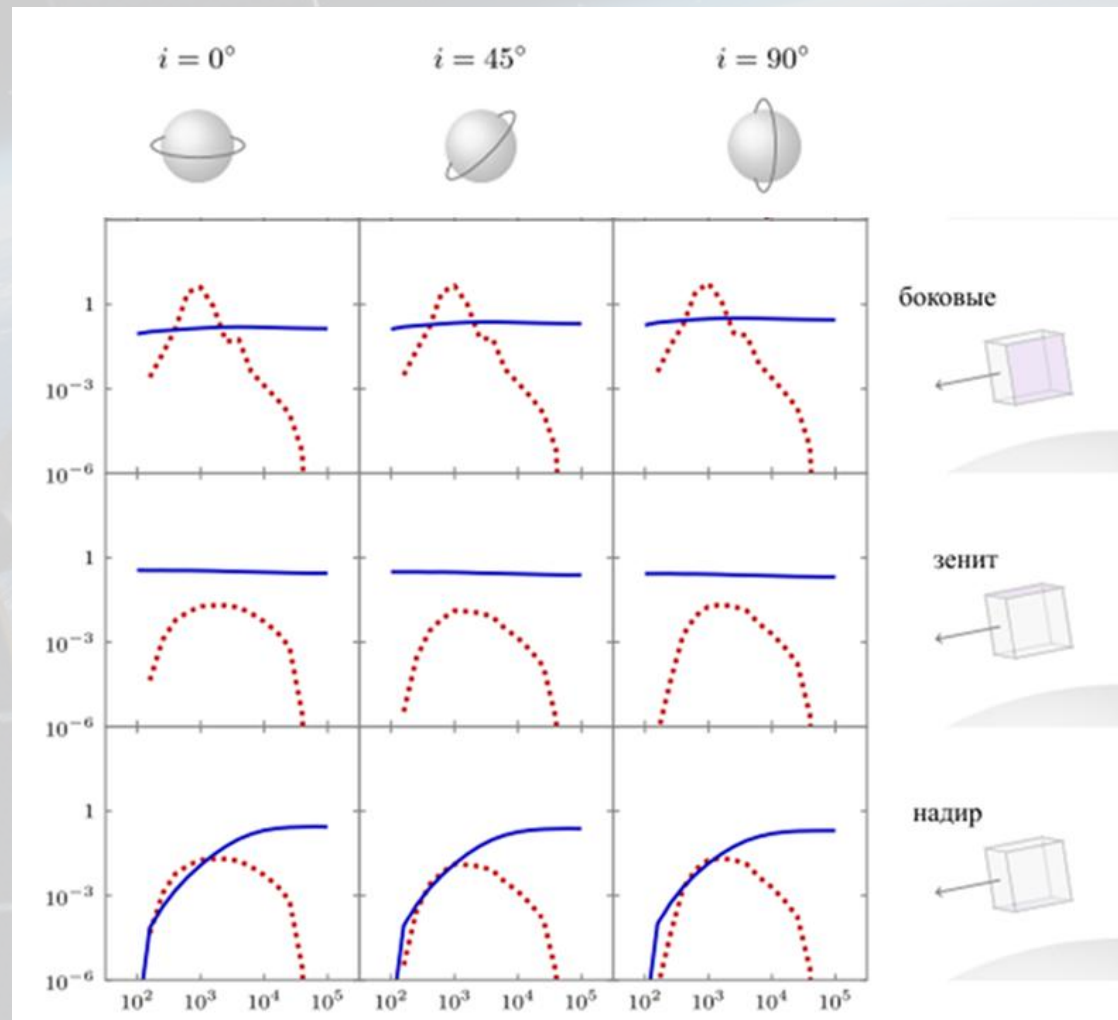
Зависимость частоты удара от размера частицы.
Данные модели MASTER

Анализ источников



Графики соударения спутника различными ударниками:
синим – метеороидом, красным – частицами космического мусора

Анализ источников

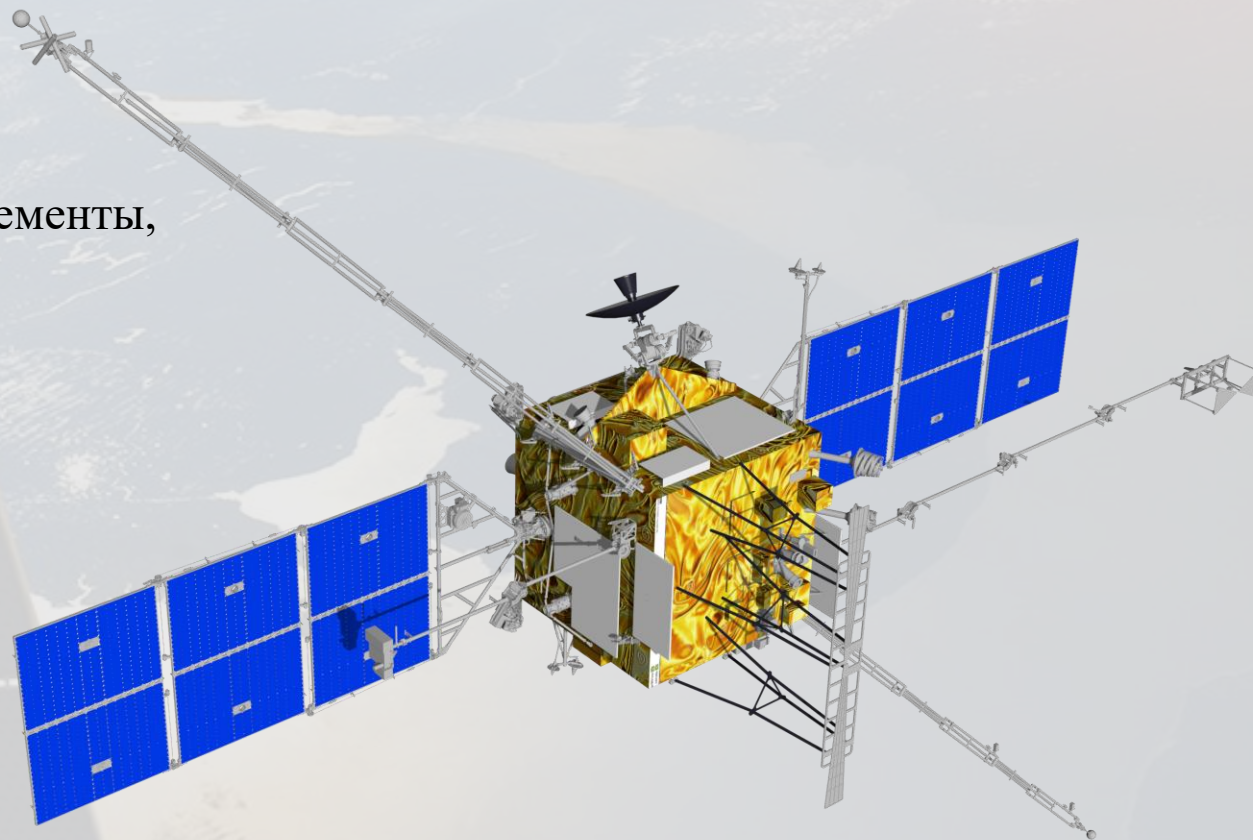


Графики соударения спутника различными ударниками: синим – метеороидом, красным – частицами космического мусора

Объект исследования

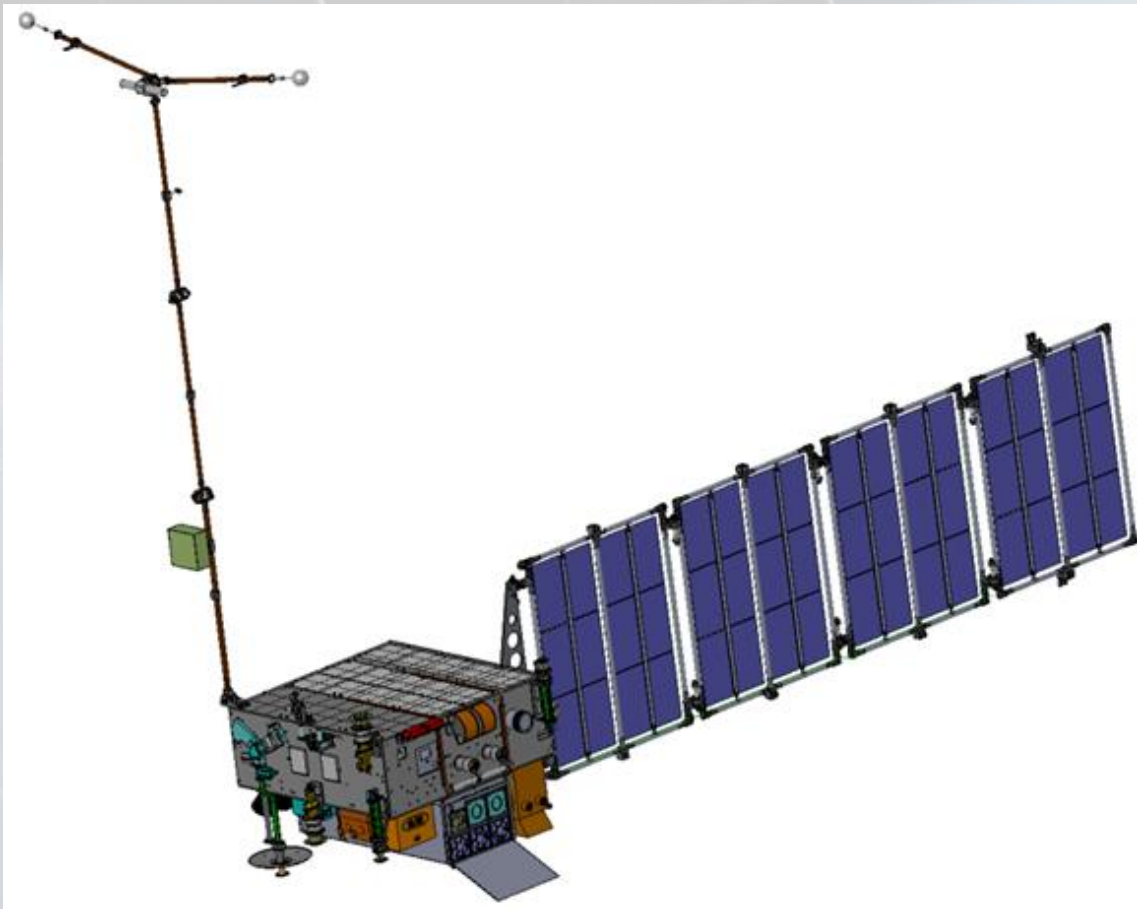
Наиболее типичный для космической деятельности ущерб от КМ — повреждение чувствительных поверхностей выносных элементов и бортовых приборов:

- телескопы,
- солнечные панели,
- уголковые отражатели,
- датчики излучений,
- детекторы,
- штанги,
- кронштейны,
- выдвижные элементы,

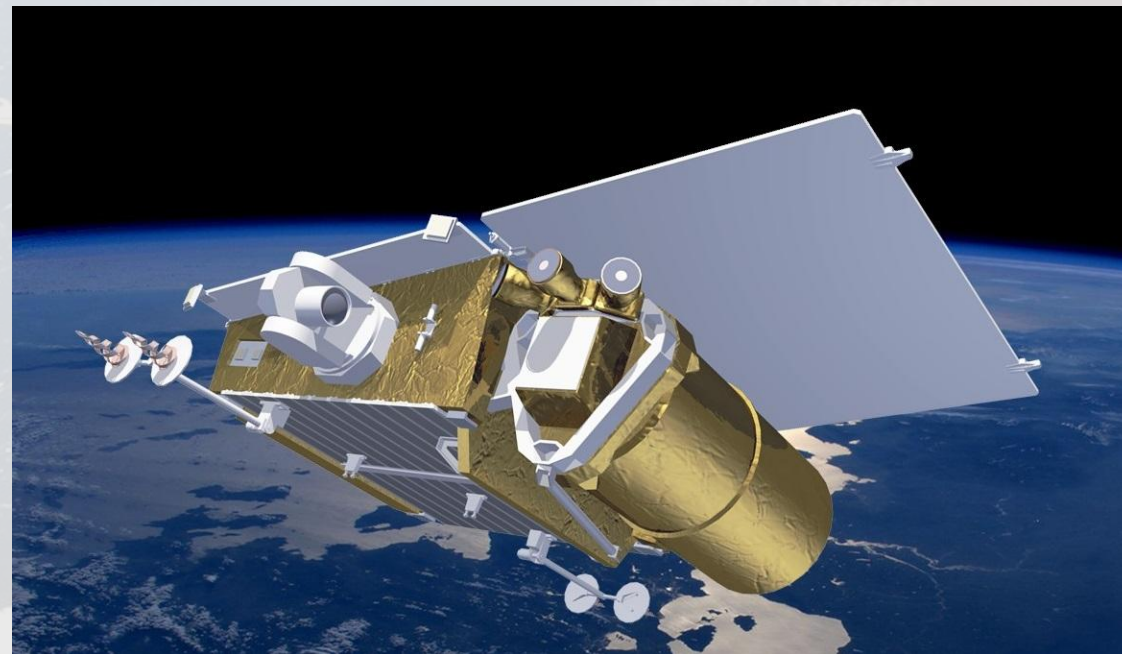


АМС «Луна-26»

Объект исследования

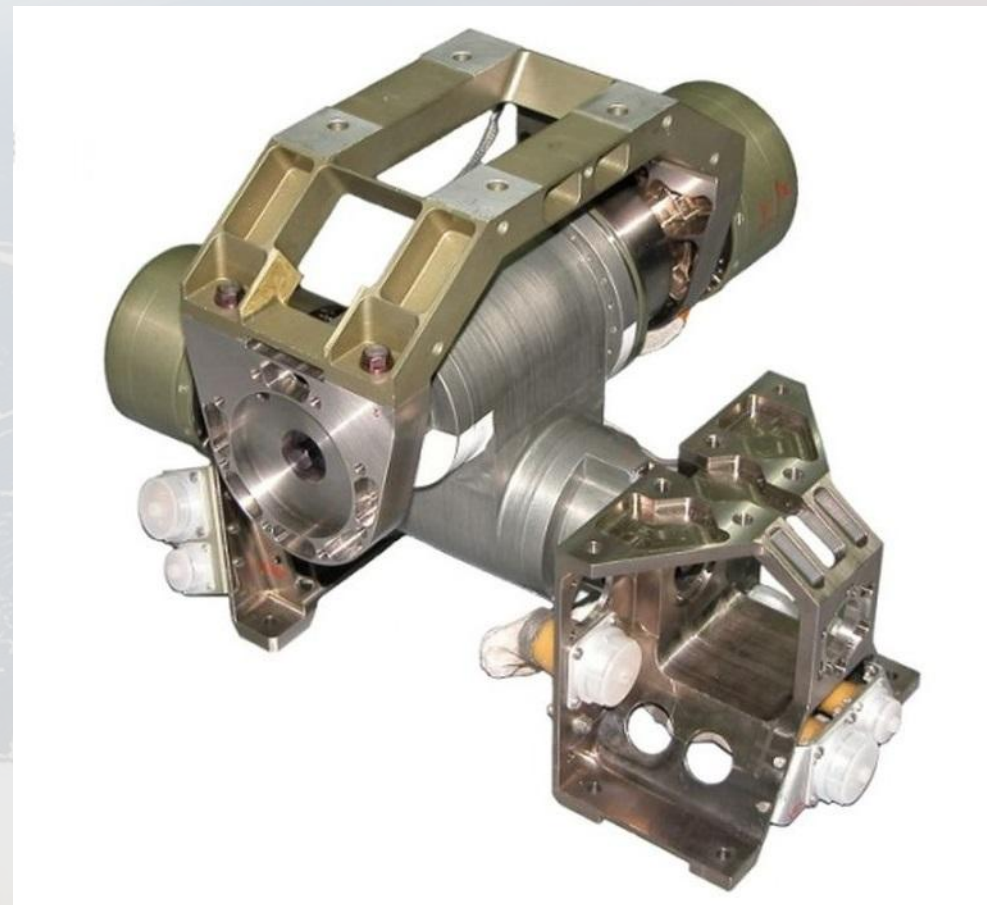


КА «Ионосфера»



КА «Беркут-ВР»

Объект исследования



Блок механический системы наведения антенн

Объект исследования



Механизм выдвижения мачты

Линейный электромеханический механизм для раскрытия трансформируемых рефлекторов зонтичного типа.

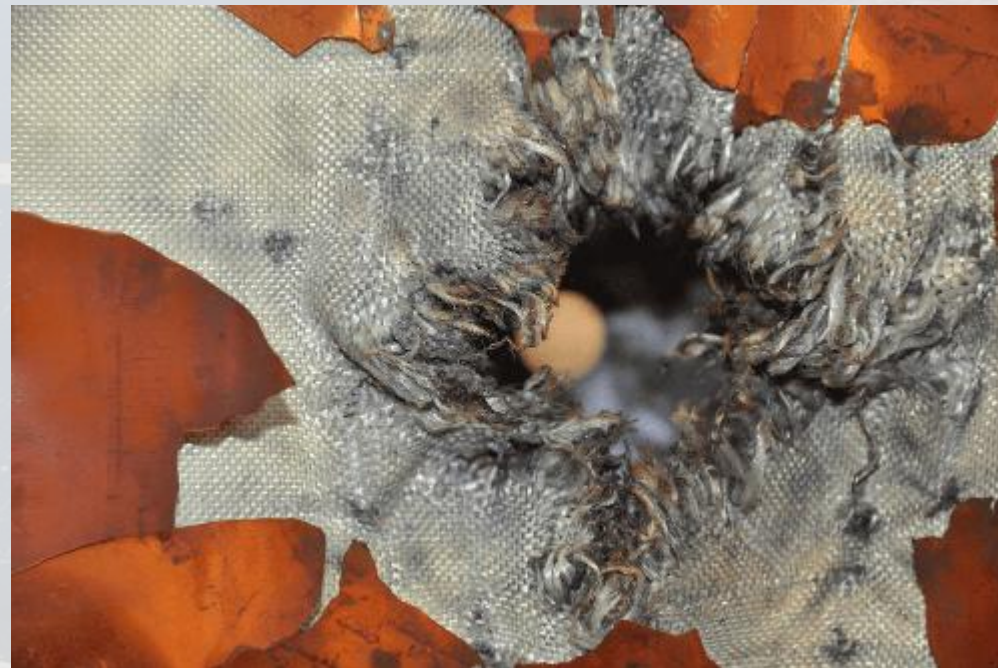
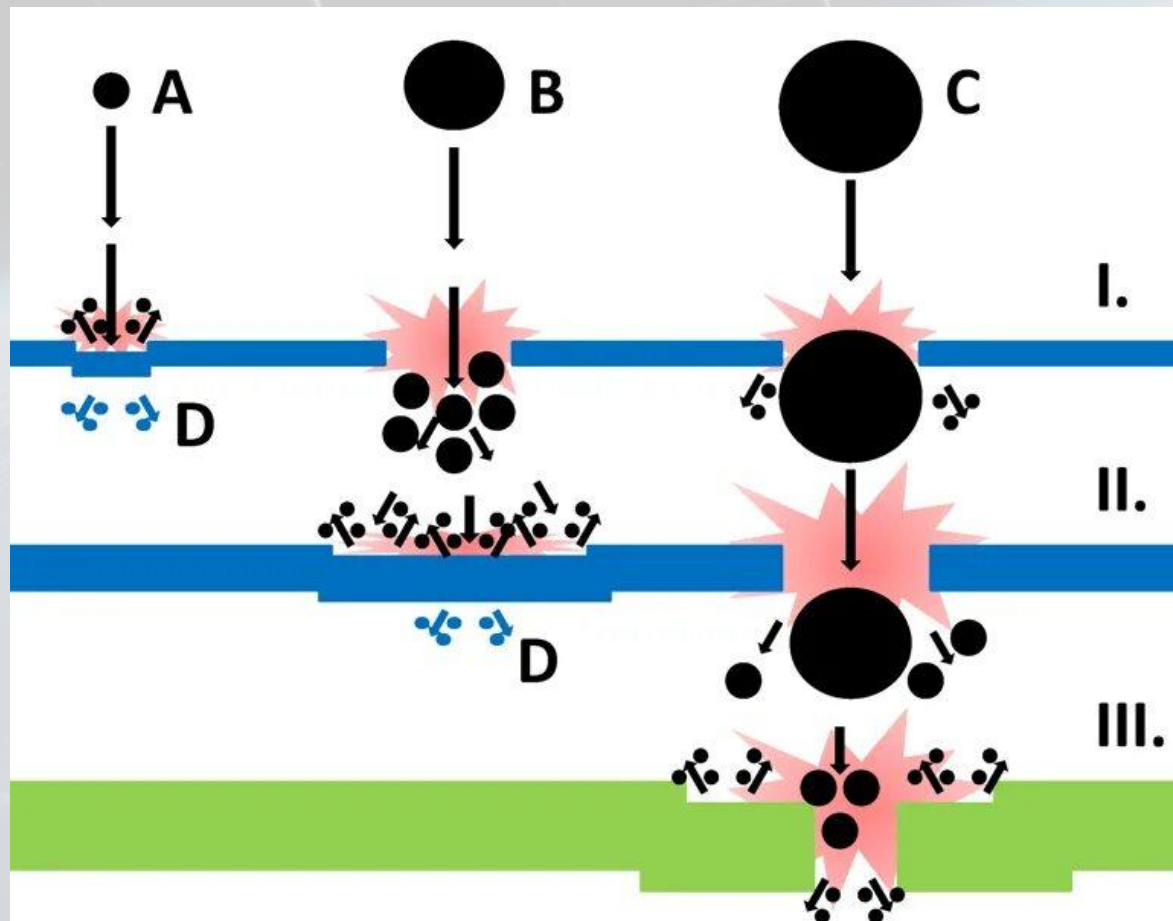
Назначение	Раскрытие рефлектора из транспортировочного положения в рабочее и его фиксации.
Время выдвижения мачты, мин	30
Развиваемое усилие, Н	2500
Диапазон рабочих температур, °С	от -40 до +50
Ресурс, циклов	50
Габаритные размеры, мм	252 x 252 x 4100
Масса, кг	12

Анализ источников



КА «Stardust», АМС
для исследования кометы Вильда

Анализ источников



Результат наземных испытаний
щита Уиппла АМС «Jiotto»

Преимущества SPH-метода

- применяется в обработке результатов вычислений динамики сложных поверхностей;
- исследуемая среда принимается за конечное множество частиц, обладающих внутренней энергией, массой, плотностью, давлением, положением в пространстве и скоростью, эффективен при вычислении механики жидкостей и газов, при моделировании взаимодействий объектов, взрывов, столкновений, задач удара в сплошной среде.

Используется совместно с сеточным методом конечных элементов, тем самым компенсируя недостатки обоих методов, сохраняя результат, максимально приближенный к достоверному.

Например, на модель мишени накладывается конечно-элементная сетка, а ударник и сам процесс соударения моделируются при помощи SPH.

Составление модели

При выбора модели расчёта важно учесть:

- Тип нагружения;
- Температурный режим;
- Требуемая детализация описания поведения материала



Полифениленсульфид

- Подходит для изготовления полых изделий, работающих под давлением;
- Крайне высокая жесткость и твердость;
- Очень высокая химстойкость;
- Великолепная стойкость к растворителям;
- Очень хорошие свойства электроизоляции;
- Стойкость к гидролизу;
- Стойкость к радиационным излучениям;

187_Semi-Analytical Model for Polymers
– для пластины из ПФС

001_Elastic
– для ударника из сплава АМг6

Температура плавления: 285-295°

Составление модели

Физико-механические свойства	Полифениленсульфид, PPS
ρ , Плотность, кг/м ³	1380
E_x , Модуль упругости вдоль оси X, ГПа	45
E_y , Модуль упругости вдоль оси Y, ГПа	45
E_z , Модуль упругости вдоль оси Z, ГПа	180
G_{xy} , Модуль сдвига в плоскости XY, ГПа	8,34
G_{yz} , Модуль сдвига в плоскости YZ, ГПа	12,02
G_{xz} , Модуль сдвига в плоскости XZ, ГПа	12,02

Составление модели

Физико-механические свойства	Полифениленсульфид, PPS
μ_1 , Коэффициент Пуассона в плоскости XY	0,345
μ_2 , Коэффициент Пуассона в плоскости YZ	0,35
μ_3 , Коэффициент Пуассона в плоскости XZ	0,35
ϵ_X , Максимальные деформации вдоль оси X	0,1
ϵ_Y , Максимальные деформации вдоль оси Y	0,024
ϵ_Z , Максимальные деформации вдоль оси Z	0,06

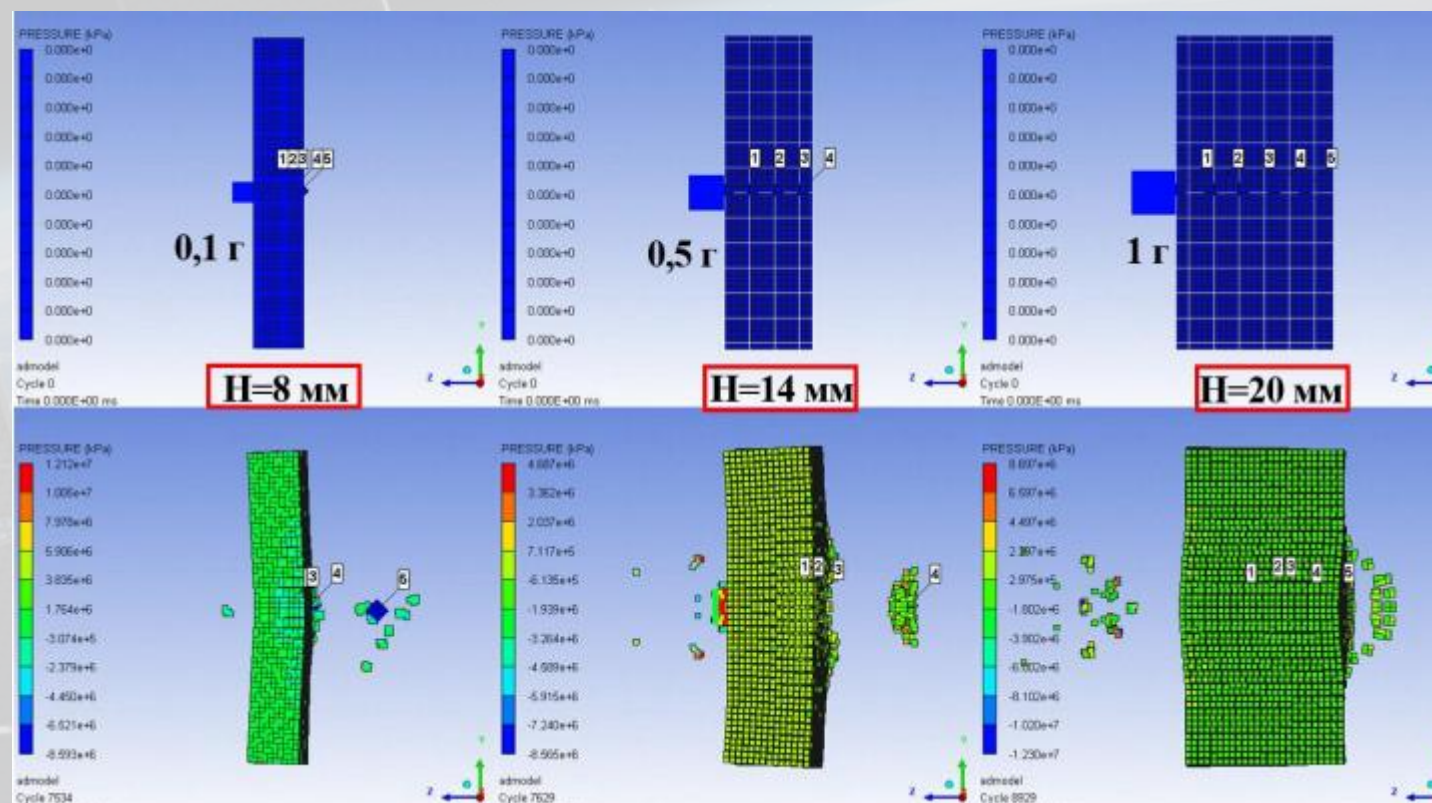
Составление модели

Физико-механические свойства	Алюминий AL-2024-T4
ρ , Плотность, кг/м ³	2785
E, Модуль упругости, ГПа	73.1
G, Модуль сдвига, ГПа	28.3
σ^+ , Предел прочности при растяжении, МПа	495
σ^- , Предел прочности при сжатии, МПа	164
ν , Коэффициент Пуассона	0,33

187_Semi-Analytical Model for Polymers – для пластины из ПФС

001_Elastic – для ударника из сплава АМгб

Результаты моделирования



Скорости деформирования и соответствующие скорости удара

v (км/с)	10^{-7}	$4 \cdot 10^{-3}$	7	$7 \cdot 10^3$	$8 \cdot 10^3$	$9 \cdot 10^3$	$1 \cdot 10^4$	$1,1 \cdot 10^4$
$\dot{\epsilon}$ (1/с)	10^{-4}	0,8	1200	$1,2 \cdot 10^6$	$1,4 \cdot 10^6$	$1,6 \cdot 10^6$	$1,9 \cdot 10^6$	$2,2 \cdot 10^7$

Выводы

- Материал полифенилсульфид продемонстрировал свои высокие прочностные свойства и применимость в конструкции СЧ КА в качестве альтернативы традиционным сплавам алюминия и стали;
- Выполненные расчёты могут быть использованы при проектировании элементов конструкций выносных и прецизионных конструкций, уязвимых к воздействиям статических, динамических и ударных нагрузок;
- С помощью численного моделирования получены зависимости скорости деформирования образца из полифениленсульфида от массы и скорости алюминиевого ударника;

