

Камысбаева Сандугаш Мухтаровна
Студент
кафедра конструкций и испытаний летальных аппаратов
Московский авиационный институт
г. Байконур, Россия
Научный руководитель
Колодяжная Ирина Николаевна
канд. тех. наук,
Московский авиационный институт
г. Байконур, Россия

Разработка эффективных сочетаний материалов для повышения защиты скафандра от космического мусора

Аннотация. В работе рассматривается вопрос повышения безопасности космонавтов в открытом космосе через модификацию внешнего слоя скафандра. Основное внимание уделено анализу прочностных характеристик материалов, включая их предел прочности, коэффициент вязкости и сопротивление ударам. Исследуется влияние этих факторов на эффективность защиты от космического мусора, что важно для улучшения безопасности космонавта при столкновении с различными объектами в космическом пространстве.

Ключевые слова: космический мусор, космический скафандр, ударная сила, сопротивление удару, ударная скорость.

Kamysbaeva Sandygash
Student
Department of Flight Vehicle Design and Test
«Moscow Aviation Institute»
Baikonur, Russia
Scientific supervisor
Kolodjzhnaja Irina
Candidate of Technical Sciences
«Moscow Aviation Institute»
Baikonur, Russia

Development of effective combinations of materials to increase spacesuit protection against space debris

Abstract. The article deals with the issue of improving the safety of astronauts in outer space through the modification of the outer layer of the spacesuit. The main attention is paid to the analysis of strength characteristics of materials, including their tensile strength, toughness coefficient and impact resistance. The influence of these factors on the effectiveness of protection against space debris is investigated, thus improving safety in collision with various objects in outer space.

Key words: space debris, space suit, impact force, impact resistance, impact velocity.

Космический мусор представляет одну из ключевых угроз для безопасности космонавтов в открытом космосе. Частицы мусора — от мельчайших микрочастиц до крупных фрагментов — представляют серьёзную опасность для скафандра, способные повредить его внешний слой или важные системы. Это создает прямую угрозу для жизни космонавтов, что делает защиту скафандра одной из приоритетных задач при разработке материалов и технологий для космических миссий.[2]

Наибольшую угрозу для космического скафандра представляют металлические обломки остроугольной формы, размером от 10 сантиметров. Эти фрагменты обладают высокой кинетической энергией и при столкновении способны нанести критические повреждения как внешнему слою скафандра, так и его жизненно важным системам. Металлические обломки выбраны как наиболее опасный тип мусора, поскольку они имеют способность пробивать защитные слои скафандра. Остроугольная форма объектов способствует концентрации силы удара в одной точке, что делает повреждения более локализованными и разрушительными. Размер от 10 сантиметров дает фрагментам достаточную массу и кинетическую энергию, что увеличивает при столкновении космического мусора вероятность критических повреждений как внешнего слоя скафандра, так и его жизненно важных систем.

Для решения этой проблемы необходима разработка новых сочетаний материалов для внешнего слоя скафандров, которые смогут обеспечить надежную защиту от космического мусора всех категорий, от микрочастиц до крупных фрагментов. Предлагается внедрить дополнительные элементы в существующий поверхностный слой скафандра или произвести замену материалов этого слоя, которые могут повысить прочность, термостойкость и устойчивость к радиации. В данной работе необходимо выбрать материалы пригодные для решения этой задачи.[1]

Для выбора оптимального сочетания материалов для защиты скафандров, необходимо, в первую очередь, рассчитать ударную силу, с которой сталкивается скафандр с космическим мусором.[3]

Ударная сила рассчитывается по формуле:

$$F = \frac{m \cdot v_{\text{удар}}}{t}, \quad (1)$$

где m – масса космического мусора, кг;

$v_{\text{удар}}$ – ударная скорость, м/с;

t – время удара, с.

Масса космического мусора рассчитывается по формуле:

$$m = \rho \cdot V, \quad (2)$$

где ρ – плотность космического мусора, кг/м³ (для алюминия $\rho = 2700$ кг/м³);

V – объем космического мусора, м³;

Так как наибольшую угрозу для повреждений скафандра представляют металлические обломки с остроугольной формой, для расчетов выбран конус, который более точно моделирует воздействие космического мусора, имитируя острые фрагменты.

Объем космического мусора (конусовидного) рассчитывается по формуле:

$$V = \frac{1}{3} \pi r^2 h, \quad (3)$$

где r – радиус основания конуса, м;

h – высота конуса, м.

$$V = \frac{1}{3} \cdot 3,14 \cdot 0,15^2 \cdot 0,3 = 0,007 \text{ м}^3.$$

$$m = 2700 \cdot 0,007 = 18,9 \text{ кг}.$$

Высота, на которой чаще всего работают космонавты – 400 км (низкая околоземная орбита - НОО). Орбитальная скорость космического мусора на НОО составляет 7800 м/с. Эта скорость обусловлена гравитацией Земли. Орбитальная скорость космонавта, находящегося на НОО в скафандре, также движется с орбитальной скоростью, то есть 7800 м/с. [4]

Ударная скорость находится по формуле:

$$v_{\text{удар}} = v_{\text{мус}} + v_{\text{косм}}, \quad (4)$$

где $v_{\text{мус}}$ – орбитальная скорость космического мусора, м/с;

$v_{\text{косм}}$ – орбитальная скорость космонавта, м/с.

$$v_{\text{удар}} = 7800 + 7800 = 15600 \text{ м/с}.$$

Время столкновения скафандра с космическим мусором – 0,01 с.

Ударная сила равна:

$$F = \frac{18,9 \cdot 15600}{0,01} = 294000 \text{ МПа} \cdot \text{м}^2.$$

Сопrotивление удару находится на формуле:

$$R_{\text{уд}} = \sigma \cdot S \cdot \mu, \quad (5)$$

σ – предел прочности, МПа;

S – площадь воздействия скафандра, м²;

μ – коэффициент вязкости, МПа.

В качестве основы расчетов предлагается полиуретан, который в настоящее время применяется в качестве внешнего покрытия скафандра «МК Орлан. Для сравнения имеющегося слоя с новыми комбинациями материалов, необходимо для начала найти сопротивление удару полиуретана.

$$R_{\text{уд}} = 70 \text{ МПа} \cdot 0,01 \text{ м}^2 \cdot 0,0275 \text{ МПа} = 0,01925 \text{ МПа} \cdot \text{м}^2.$$

Исходя из анализа физико-механических свойств материалов, можно рассмотреть следующие сочетания материалов[1]:

1. Сочетание кевлара и углеродных нанотрубок.

Для обеспечения оптимальной защиты от ударов космического мусора в исследовании выбрано сочетание материалов в пропорции 40% кевлара и 60% углеродных нанотрубок.

Предел прочности данного сочетания находится по формуле:

$$\sigma = (40\% \cdot \sigma_{\text{кевлар}}) + (60\% \cdot \sigma_{\text{угл.нанотр.}})$$
$$\sigma = (0,4 \cdot 3620 \text{ МПа}) + (0,6 \cdot 50000 \text{ МПа}) = 31448 \text{ МПа}.$$

Коэффициент вязкости находится по формуле:

$$\mu = (40\% \cdot \mu_{\text{кевлар}}) + (60\% \cdot \mu_{\text{угл.нанотр.}})$$
$$\mu = (0,4 \cdot 1,5 \text{ МПа}) + (0,6 \cdot 1200 \text{ МПа}) = 720,6 \text{ МПа}.$$

Сопrotивление удару для сочетания кевлара и углеродных нанотрубок:

$$R_{\text{уд}} = 31448 \text{ МПа} \cdot 0,01 \text{ м}^2 \cdot 720,6 \text{ МПа} = 2265,54 \text{ МПа} \cdot \text{м}^2.$$

Расчеты для остальных сочетаний выполняются аналогично.

2. Сочетание углеродных нанотрубок и графена.

Для обеспечения оптимальной защиты от ударов космического мусора в исследовании выбрано сочетание материалов в пропорции 60% углеродных нанотрубок и 40% графена [5,6]:

3. Сочетание углеродных нанотрубок и полиуретана со встроенными микрокапсулами

Применение микрокапсул можно использовать в качестве самовосстанавливающихся материалов. При повреждении полиуретана микрокапсулы разрушаются, высвобождая содержимое, которое инициирует процессы восстановления. [6,7]

Для обеспечения оптимальной защиты от ударов космического мусора в исследовании выбрано сочетание материалов в пропорции 60% углеродных нанотрубок, 30% полиуретана и 10% микрокапсул.

Таблица 1.

Результаты расчетов

Характеристики Материал	Предел прочности (МПа)	Коэффициент вязкости (МПа)	Сопrotивление удару (МПа · м ²)
Полиуретан	70	0,0275	0,01925
Сочетание кевлара и углеродных нанотрубок	31448	720,6	2265,54

Сочетание углеродных нанотрубок и графена.	82000	721,6	591712
Сочетание углеродных нанотрубок и полиуретана со встроенными микрокапсулами	30022	730,008	219163,002

В результате проведенного анализа установлено, что сочетание углеродных нанотрубок и графена является наилучшим выбором для модификации внешнего слоя скафандра. Это решение было основано на анализе предела прочности, коэффициента вязкости и сопротивления удару материалов. Ударное сопротивление углеродных нанотрубок и графена значительно превышает ударное сопротивление у полиуретана, используемого ранее, что делает их более эффективными для защиты от космического мусора. Таким образом, это сочетание углеродных нанотрубок и графена обеспечивает лучший уровень безопасности для космонавтов в открытом космосе.

Список источников

1. Камысбаева С.М., Колодяжная И.Н. Защита космонавтов от угроз космического мусора: современные решения//Современные информационные технологии: Сборник материалов 11-1 международной научно-технической конференции. – М.: Институт гуманитарных наук, экономики и информационных технологий, 2024. – с. 466-469.
2. Шустов Б. М. Космический мусор: проблемы и решения // Вестник Российской академии наук. — 2023. — Т. 93, № 5. — С. 412–419.
3. Лепёшкин О. М., Доронин А. С. Теория горения и взрыва: учебное пособие. — Санкт-Петербург: Изд-во СПбГТУ, 2020. — 356 с.
4. Перминов В. Г. Основы космической баллистики: учебное пособие. — М.: Машиностроение, 1995. — 352 с.
5. Гудков М.В., Столярова Д.Ю., Шиянова К.А. Полимерные композиты с графеном и его производными как функциональные материалы будущего // Высокомолекулярные соединения. Серия С. 2022. Т. 64. № 1. С. 45–68.
6. Покропивный А. В., Фильченков, В. В. Углеродные нанотрубки и наноматериалы: свойства, структура и применение. — Киев: Наукова думка, 2007. — 280 с.
7. Методы исследования современных полимерных материалов: учебно-методическое пособие / Под ред. Замышляевой Н. А. — Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2012. — 90 с.