

Ожогин Никита Александрович, студент кафедры КТЭСиУ. E-mail: ozhogin.nikita@gmail.ru

Лофицкий Игорь Вадимович, к.т.н., доцент кафедры КТЭСиУ E-mail: ivl60@mail.ru

УДК 621.396.96

## **МИКРОМЕТЕОРОИДЫ И ЧАСТИЦЫ КОСМИЧЕСКОГО МУСОРА – ХАРАКТЕРИСТИКА ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ЭЛЕМЕНТЫ ПОВЕРХНОСТИ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА**

А.В. Ионов, К.Е. Воронов

«Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва», г. Самара

На космический аппарат в процессе орбитального полета воздействуют факторы космического пространства (ФКП), которые условно делятся на естественные и искусственные. [1]. Одним из воздействующих факторов являются высокоскоростные твердые частицы. Из-за более высокой концентрации наибольшее количество взаимодействий приходится на микрометеороиды и частицы космического мусора.

Процесс их взаимодействия с поверхностью сопровождается проявлением ряда физических эффектов: электромагнитное излучение (вспышка видимого света, ИК излучение, излучение в радиочастотном диапазоне), акустические колебания, кратерообразование, выброс плазмы и материала частицы и мишени из области кратера и т.д.

Параметры кратера - форма, размеры зависят от параметров воздействующей частицы (ее материала, направления и скорости взаимодействия и т.д.) и свойств поверхности (мишени).

Проведено рассмотрение эмпирических уравнений и моделей устанавливающих связь между результатом воздействия - параметрами возникающих кратеров и параметрами воздействующих частиц и свойствами мишени и сравнение с экспериментальными результатами.

Все уравнения, описывающие образование микрократеров, используют представление ударника в виде тела сферической формы.

На рисунке 1 представлены ударники и соответствующие им кратеры. [2] В процессе исследования проведен анализ четырех методик расчета параметров кратера [3, 4, 5, 6, 7, 8].

Все методики дают несколько различных результат. Проведено сопоставление с экспериментальными данными. Наиболее близкий к экспериментальному результату в области оценки микровоздействия имеет следующая методика расчета.

$$D = K_c \cdot B^{-0,25} \cdot C^{\frac{2}{3}} \cdot d^{1,056} \cdot \rho_p^{0,5} \cdot \rho_t^{-0,5} \cdot v^{\frac{2}{3}} \cos^{\frac{2}{3}} \alpha$$

$$H = 5,24 \cdot B^{-0,25} \cdot d^{1,056} \cdot \left(\frac{\rho_p}{\rho_t}\right)^{0,5} \cdot \left(\frac{v \cdot \cos \alpha}{C}\right)^{\frac{2}{3}},$$

где  $K_1$  – коэффициент, который зависит от материала мишени (для сплавов алюминия принимают  $K_1=0,66$ ),  $d$  – диаметр частицы,  $\rho_p$  – плотность частицы,  $v$  – скорость частицы,  $\alpha$  – угол падения,  $K_c$  – коэффициент, который представляет собой отношение диаметра кратера к глубине (для пластичных мишеней примерно равен 1, для хрупких может достигать 10),  $B$  – твёрдость материала по Бринеллю,  $C$  – скорость звука в материале мишени,  $\rho_t$  – плотность мишени.

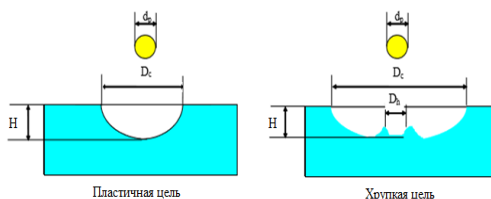


Рисунок 1 – Используемые модели ударников и формы кратеров

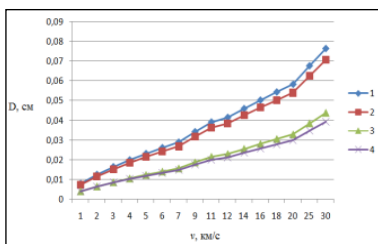


Рисунок 2–Зависимости диаметра кратера от скорости частицы (50 мкм) для различных методик

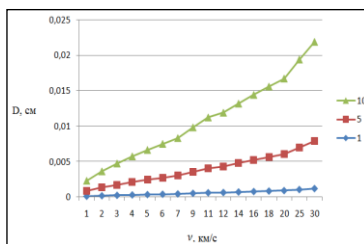


Рисунок 3– Зависимости диаметра кратера от скорости частицы для частиц 1, 5, 10 мкм

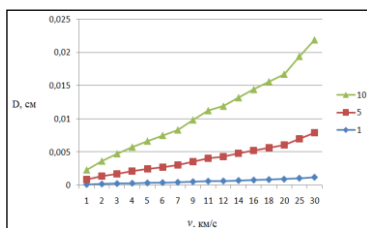


Рисунок 4– Зависимости глубины кратера от скорости для частиц 1, 5, 10 мкм

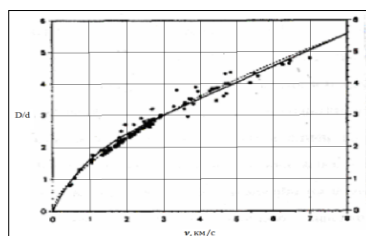


Рисунок 5 – Сопоставление экспериментальной и расчетной зависимостей

Результаты сравнительных расчетов приведены на рисунке 2. Примеры расчетов на рисунке 3, 4. Сопоставление расчетов и экспериментальных данных приведено на рисунке 5.

#### Список использованных источников

1. Воронов К.Е. Микрометеороиды и частицы космического мусора как воздействующий фактор космического пространства. Измерение их параметров. //ВНТК "Актуальные проблемы радиоэлектроники и телекоммуникаций". — 2018. — С. 15-22
2. Dr. Heiner Klinkrad. Space Debris Models and Risk Analysis. European Space Agency. Darmstadt, 2006. -430с.
3. A. Gade, A. Miller. ESABASE2/Debris Release 7.0 Technical Description. 2015. -140с.
4. Henry C. de Groh, Bruce M. Steinetz. Effects of Hypervelocity Impacts on Silicone Elastomer Seals and Mating Aluminum Surfaces. NASA Glenn Research Center. Cleveland, Ohio, 2009. -18с.
5. Dr. Eric L. Christiansen. Handbook for Designing MMOD Protection. NASA Johnson Space Center. Houston, 2009. - 132с.
6. Second European Conference on Space Debris. European Space Agency. Darmstadt, 1997. -807с.
7. Friedrich Horz, J. Borg, P. Bradley. MICROCRATERS IN ALUMINUM FOILS EXPOSED BY STARDUST. Lunar and Planetary Science XXXVII, 2006. -2с.
8. Eric L. Christiansen. METEOROID/DEBRIS SHIELDING. NASA Johnson Space Center. Houston, Texas, 2003. -100с.