

УДК 629.7.036

**Д.С. Кириченко, А.В. Сочнев**

Казанский национальный исследовательский технический  
университет имени А. Н. Туполева - КНИТУ-КАИ  
Казань, Россия

## **ЛАЗЕРНАЯ ЗАЩИТА ОКОЛОЗЕМНОГО ПРОСТРАНСТВА ОТ КОСМИЧЕСКОГО МУСОРА**

***Аннотация.** В данной работе рассмотрен вариант борьбы с космическим мусором (КМ) путем воздействия на него лазерным излучением космической установки в импульсном режиме. Приведены данные, подтверждающие перспективу дальнейшего развития проекта.*

**D.S. Kirichenko, A.V. Sochnev**

Kazan National Research Technical University  
named after A. N. Tupolev – KNITU - KAI  
Kazan, Russia

## **LASER PROTECTION OF NEAR-EARTH SPACE FROM SPACE DEBRIS**

***Abstract.** In this paper, a variant of combating space debris by exposing it to laser radiation from a space installation in a pulsed mode is considered. The data confirming the prospect of further development of the project are presented.*

С каждым годом количество запусков космических аппаратов в открытый космос и на орбиту Земли возрастает. За последние полвека множество спутников, закончив свои миссии, вышли из строя и не были возвращены на Землю. Неисправные спутники так и остаются летать вокруг нашей планеты. Это неизбежно ведет к массовому появлению космического мусора. По оценкам экспертов в околоземном пространстве к 1996 году насчитывалось порядком 3,5 млн. не отслеживаемых фрагментов космического мусора размером менее 1 см, более 100 тысяч осколков размером от 1 до 10 см и более 8000 фрагментов, превышающих 10 см. Длительность жизни КМ зависит от высоты его орбиты, так на низких орбитах (около 200 км) время жизни фрагмента космического мусора в среднем составляет около недели. На более высоких орбитах (около 600 км) их жизнь составляет 25-30 лет, на высотах около 1000 км – 2000 лет [1]. Увеличение космического мусора увеличивает шанс столкновения КМ с космическим летательным аппаратом, что приведет к выводу из строя последнего. Воздействие лазерного излучения может помочь в борьбе с КМ.

Нахождение на орбите множества неконтролируемых объектов может привести к эффекту Кesslera – нарастанию количество космических фрагментов при их столкновении. Также увеличению космического мусора может содействовать саморазрушение КА, их взрывы из-за остатков топлива внутри. На рис. 1 и 2 показано образование новых фрагментов космического мусора после распада космического аппарата.

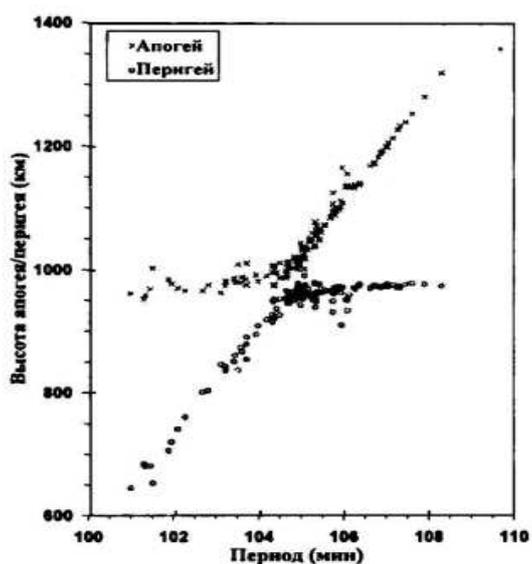


Рис.1 – Распределение фрагментов распада КА Космос 1275 через неделю после взрыва (По данным каталога NASA) [2]

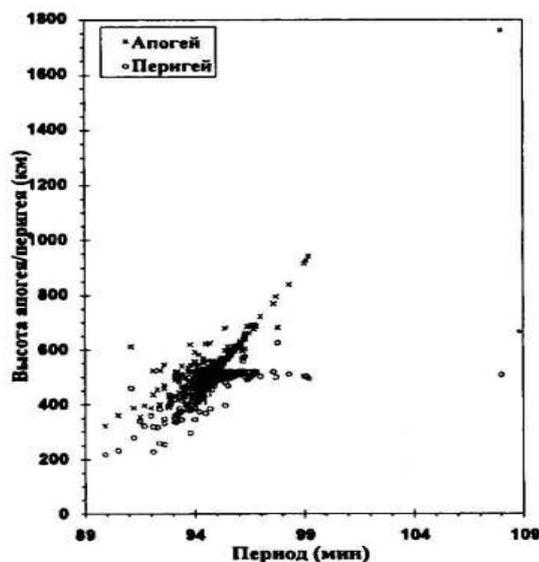
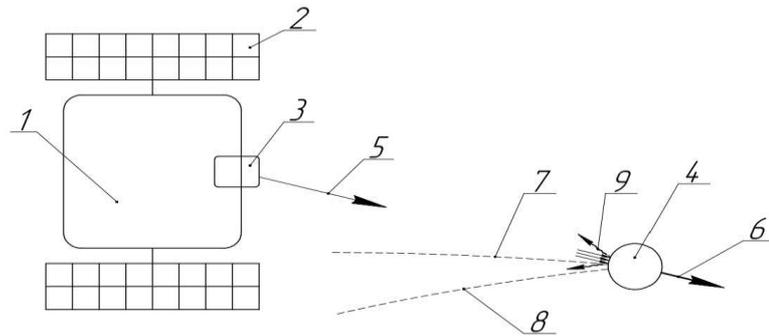


Рис.2 – Распределение фрагментов распада P-78 (SOLWIND) через 11 часов после взрыва (По данным каталога NASA) [2]

В работе [2] представлены анализы динамической эволюции КА на интервалах 30, 100 и 200 лет всей геостационарной зоны. Показано, что со временем идет нарастание количества КА на неустойчивых орбитах. Увеличение КА на таких орбитах можно проследить на достаточно длинном интервале: так на интервале времени 30 лет неустойчивых объектов относительно немного, но через 100 и 200 лет их число возрастает в несколько раз. Была исследована эволюция 624 неуправляемых объектов космического пространства на интервале в 10 лет. Получены результаты всех сближений объектов на расстоянии менее 100 км – 514556. Из них в 19 сближениях (менее 1 км) возможным исходом является столкновение.

Предлагаемый способ очистки космического пространства от мусора, основанный на лазерной абляции вещества. Космический аппарат, оснащенный лазерной установкой, системой наведения, ориентации, энергопитанием, силовыми установками, лазерным

импульсом не уничтожает выбранную цель, а замедляет ее скорость, уменьшая время жизни объекта на орбите. Так возможно контролируемо спустить космический мусор в плотные слои атмосферы, где произойдет его дальнейшее уничтожение. Благодаря этому энергопотребление на операцию уменьшается. На рис. 3 схематично показан принцип работы лазерной системы очистки орбиты от КМ:



**Рис. 3 - Принцип работы лазерной системы очистки орбиты от космического мусора: 1- корпус летательного аппарата, 2- система энергоснабжения (солнечные батареи), 3- импульсный лазер, 4- фрагмент космического мусора, 5- направление лазерного луча, 6- вектор изменения скорости, 7- изначальная траектория, 8- новая траектория, 9- поток газов при абляции.**

По изначальным известным параметрам фрагмента космического мусора возможно примерно вычислить испаренную массу за один лазерный импульс [3].

$$m = E / [Cm(Tm - T) + Sev(Tev - Tm) + Lm + Lev], \quad (1)$$

где  $m$  – аблированная масса, кг;  $E$  – энергия лазерного импульса, Дж;  $Cm$  – теплоемкость расплавленного материала, Дж/кг;  $Sev$  – теплоемкость материала, нагретого до температуры кипения, Дж/кг;  $Tm$  – температура плавления, К;  $Tev$  – температура испарения, К;  $T$  – начальная температура, К;  $Lm$  – скрытая температура плавления, К;  $Lev$  – скрытая теплота плавления, Дж/кг;

Например, для алюминия за один выстрел лазером, энергией

0,35 Дж, аблированная масса:

$$m = 1,766 * 10^{-11} \text{ кг}$$

Примем допущение, что все объекты движутся только по круговым орбитам. Допустим фрагмент космического мусора имеет массу 0.05 кг и движется по орбите высотой 400 км. Тогда

$$V = \sqrt{\frac{G * M_3}{R_3 + 300 * 10^3}} = 7671 \frac{\text{м}}{\text{с}}, \quad (2)$$

где  $G = 6,674 * 10^{-11} \frac{\text{м}^3}{\text{кг} * \text{с}^2}$  – гравитационная постоянная;

$M_3 = 5,97 * 10^{24}$  кг – масса Земли;

$R_3 = 6371 * 10^3$  м – радиус Земли;

$$\Delta V = \frac{C * E}{m} = \frac{0,8 * 0,35}{0,05} = 0,007 \frac{\text{м}}{\text{с}} \quad (3)$$

где  $C = 0,001$  – коэффициент удельного импульса реактивной отдачи,

$H \cdot \text{с}/\text{Дж}$ ;  $E = 0,35$  Дж.

Период обращения тела вокруг планеты до воздействия лазерного излучения равно:

$$T = \frac{2 * \pi * (R_3 + H)}{V} = 5545,99 \text{ с} \quad (4)$$

Скорость объекта после воздействия лазером:

$$V1 = V - \Delta V = 7665 \text{ м/с} \quad (5)$$

По следующей формуле мы можем вычислить изменение периода обращения тела вокруг планеты:

$$\Delta T = 3 * T * \frac{\Delta V}{V} = 0,015 \text{ с} \quad (6)$$

Тогда новый период обращения равен:

$$T1 = T - \Delta T = 5545,97 \text{ с} \quad (7)$$

Из формулы (4) выразим высоту полета объекта:

$$H1 = \frac{T1 * V1}{2 * \pi} - R = 399,975 \text{ км} \quad (8)$$

Изменение высоты орбиты равняется:

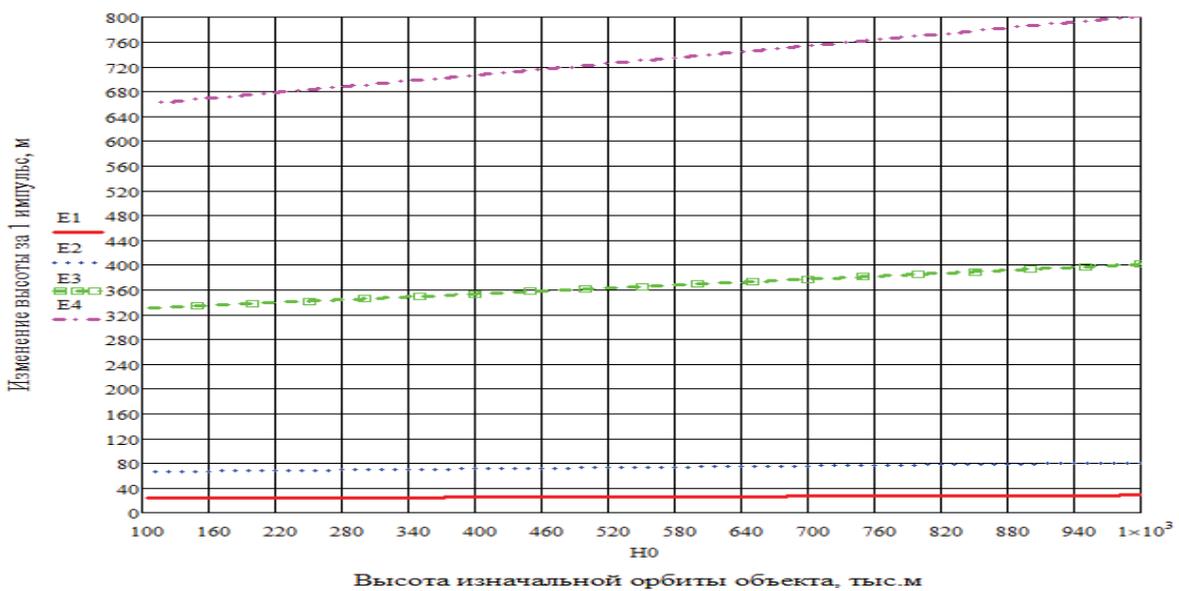
$$\Delta H = H - H1 = 24,715 \text{ м} \quad (9)$$

Следовательно, за один выстрел, энергией 0,35 Дж, скорость объекта уменьшается на 5,6 м/с, а высота орбиты уменьшается на 24,715 м.

### Заключение

В данной статье было проведено сравнение различных методов очистки орбиты Земли от космического мусора. Предложен метод очистки импульсным лазерным излучением. Проведены расчеты

изменения орбиты полета космического мусора массой 50 гр после воздействия лазерного излучения различной энергий, так один лазерный импульс, энергией 0,35 Дж, опускал космический мусор, находящийся на высоте 400 км, на 24 м, а энергия 10 Дж снижает высоту на 700 м. Из полученных данных следует, что лазерное торможение космического мусора даёт возможность удалённо снизить орбиту космического мусора до высоты порядка 100 км, где время жизни объектов менее суток, таким образом очищается околоземное пространство. На рис. 4 показан график изменения высоты космического мусора при воздействии лазерным импульсом разной энергии.



**Рис. 4 - График изменения высоты КМ при воздействии лазерным импульсом различной энергии: E1=0,35 Дж; E2=1 Дж; E3=5 Дж; E4=10 Дж**

Работа поддержана в рамках Фонда содействия инновациям, договор №16522ГУ/2021 от 31.05.2021

### Список использованных источников

1. Вениаминов С.С., Червонов А.М. Космический мусор - угроза человечеству // ИКИ РАН. 4 ЦНИИ МО РФ. 2012. – 191 с.
2. Александрова А. Г. Исследование долговременной орбитальной эволюции объектов космического мусора геостационарной зоны: автореф. ... канд. физ.-мат. наук: 01.03.13 / Александрова Анна Геннадьевна. – СПб, 2012. – 24 с.
3. Вакс Е.Д., Миленский М.Н., Сапрыкин Л.Г. Практика прецизионной лазерной обработки // Москва: Техносфера, 2013. – 696 с.