УДК 629.785

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВРЕМЕНИ ВЫЖИВАНИЯ КОСМИЧЕСКОЙ ТРОСОВОЙ СИСТЕМЫ

© 2010 В.С. Асланов[1], А.В. Пироженко[2], О.Л. Волошенюк[2], А.В. Кислов[1], А.В. Ящук[2]

[1] Самарский государственный аэрокосмический университет
[2] Институт технической механики НАН Украины и НКА Украины, г. Днепропетровск

Поступила в редакцию 13.10.2009

Предложены алгоритмы определения вероятности выживания космической тросовой системы при угрозе ее разрушения космическими частицами. Потоки частиц космического мусора рассмотрены как стационарные пуассоновские потоки. Интенсивность потоков частиц рассчитывается с помощью известных компьютерных моделей ORDEM 2000, Master 2001. На основе этого можно определены вероятностные оценки времени выживания троса и, выбраны его конструктивные характеристики.

Ключевые слова: космические тросовые системы, космическим мусором, оценки времени выживания, модели загрязнения околоземного космического пространства

В настоящее время существенно возрос интерес к использованию тросовых систем в космическом пространстве. В 2007 году состоялось два запуска подобных систем (MAST, YES 2). В перспективе космические тросовые системы (КТС) могут решать задачи, которые невозможно или неэкономично решать с помощью существующих средств космической техники. Такие системы могут стать альтернативой ракетам-носителям для проведения транспортных операций в космосе. В ряде проектов [1-4] рассмотрена возможность эффективного использования вращающихся КТС для многократной транспортировки грузов с низких околоземных орбит на геостационарную, окололунную и межпланетные орбиты. Протяженность подобных систем может достигать сотен километров при толщине троса в несколько миллиметров. В работах [5-7] рассмотрена возможность использования электродинамической КТС для создания недорогой и эффективной системы увода выработавших свой ресурс космических аппаратов (КА) с низких околоземных орбит. Интересны проекты использования КТС для решения научно-исследовательских задач, в частности, изучения характеристик космической плазмы, свойств верхних слоев атмосферы, проведения распределенных измерений [8-10].

Одной из основных особенностей функционирования КТС является их бьльшая уязвимость, в сравнении с КА, при столкновении с космическими частицами (космическим мусором и метеорными частицами). Маленькие размеры и большое количество таких частиц не позволяют использовать известные методы баллистики для описания их движения и оценки опасности столкновения с КТС. Имея большую скорость движения, частицы, размеры которых составляют ~ (1/3 – 1/2) толщины троса, могут перебить трос и тем самым разрушить систему. Поэтому использование КТС предполагает решение проблемы выживания тросовых соединений в условиях космического пространства. Здесь и далее, говоря о выживании КТС, мы будем подразумевать выживание только троса при угрозе его разрушения космическими частицами.

В работах [11-13] определены оценки вероятности выживания КТС при столкновении с космическими частицами. Эти оценки основываются на определении количества столкновений КТС с суммарным потоком частиц разных размеров на некотором интервале времени. Наиболее проработанным представляется алгоритм, предложенный в работе [11], позволяющий оценить влияние размера частиц на выживаемость КТС. Но данный алгоритм представляется излишне усложненным и позволяет определять вероятность выживания КТС только для монолитных конструкций троса. Вместе с тем, изменения конструкции троса позволяют существенно увеличить время его выживания [14].

Целью данной работы является разработка упрощенного алгоритма, позволяющего прово-

Асланов Владимир Степанович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой теоретической механики. E-mail: aslanov_vs@mail.ru.
Пироженко Александр Владимирович, доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник. E-mail: alex.pirozhenko@mail.ru.
Волошенюк Оксана Леонидовна, младший научный сотрудник. E-mail: oksana.dnepr@gmail.com.
Кислов Александр Владимирович, кандидат технических наук, доцент кафедры теоретической механики. E-mail: alexkislov2008@mail.ru
Ящук Алена Викторовна, аспирант. E-mail: revolt@navy.dp.ua

дить расчеты и получать оценки времени выживания КТС с моноволоконным и двухволоконным тросом.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВРЕМЕНИ ВЫЖИВАНИЯ КТС С МОНОВОЛОКОННЫМ ТРОСОМ

Пусть трос состоит из одного волокна (рис. 1), которое имеет круглое поперечное сечение диаметром D_T. Предполагается также, что частицы космического мусора (КМ) имеют сферическую форму с некоторым диаметром d_i, $i=\overline{1,p}$ (p – заданное число потоков, в зависимости от размера (диаметра) частиц, и каждому i-му потоку частиц соответствует среднее значение диаметра d_i). Считаем, что $d_1 < d_2 < \ldots < d_p$, $i=\overline{1,p}$.

Не каждое столкновение частиц КМ с тросом приводит к разрушению троса. Определение условий, при которых в результате столкновения будет происходить разрушение троса, является отдельной задачей. Так же, как в [11], будем предполагать, что при столкновении с частицей диаметром d_i, $i=\overline{1,p}$ трос не будет перебит, если расстояние прохождения частицы от края троса не больше, чем x. По экспериментальным данным [15] значение x может изменяться в пределах $\left[\frac{1}{3}D_T;\frac{1}{2}D_T\right]$, в зависимости от материала троса. Исходя из этого условия, опасность для троса будут представлять потоки частиц КМ, средние размеры которых $d_i \ge x$, $i=\overline{k,p}$, $k=\max\{i: d_i \ge x\}$.

Пусть ξ – положение геометрического центра частицы КМ диаметра d_i, $i=\overline{k,p}$ относительно левого края троса (рис. 1). В случае, когда ξ удовлетворяет условию $-\frac{d_i}{2}+x \le \xi \le D_T - x + \frac{d_i}{2}$, $i=\overline{k,p}$ –– трос будет перебит.

Пусть λ_i, $i=\overline{k,p}$ величина, равная интенсивности потока частиц КМ диаметром d_i, разрушающих трос в единицу времени. Величина λ_i определяется формулой

$$\lambda_i = \Delta F_i S_T(d_i)\ ,\quad i=\overline{k,p},$$

где ΔF_i — среднее число частиц диаметром d_i, проходящих за единицу времени через единичную площадку (определяется из модели загрязнения околоземного пространства);

$S_T(d_i)$ — приведенная площадь продольного сечения троса для i-го потока частиц КМ, равная

$$S_T(d_i) = L(D_T + d_i - 2x)\ ,\quad i=\overline{k,p},$$

L — длина троса.

Тогда, интенсивность λ суммарного потока частиц КМ, разрушающих трос, определяется как сумма всех λ_i, $i=\overline{k,p}$, т.е.

$$\lambda = \sum_{i=k}^{p}\lambda_i,\quad i=\overline{k,p}.$$

Будем считать, что поток частиц КМ является стационарным пуассоновским потоком, т.е. удовлетворяет следующим условиям:

- вероятность попадания того или иного числа частиц космического мусора в трос не зависит от его положения на орбите, иными словами, частицы распределены на заданной высоте с одинаковой средней плотностью;
- вероятность попадания частиц в трос не зависит от того, сколько их попало в любую другую область пространства, т.е. частицы попадают в неперекрывающиеся области независимым способом;
- вероятность попадания на малый участок троса КТС двух и более частиц пренебрежимо мала по сравнению с вероятностью попадания одной частицы (это условие означает практическую невозможность совпадения двух и более частиц).

При соблюдении данных условий, число событий на любом фиксированном интервале времени будет распределено по закону Пуассона [16]. Т.е., вероятность того, что на некотором интервале времени t произойдет столкновение с m частицами, разрушающими трос, определяется по формуле

$$P_m(t) = \frac{(\lambda t)^m}{m!}\cdot e^{-\lambda\cdot t},\quad t>0.$$

Пусть T — случайная величина, описывающая время жизни троса. Тогда вероятность $P_T(t)$ равна вероятности того, что на интервале времени t не будет столкновения с частицами, разрушающими трос, т.е.

$$P_T(t) = P(T \ge t) = P_0(t) = e^{-\lambda\cdot t}. \qquad (1)$$

Функция распределения $F_T(t)$ времени жизни троса T определяется равенством

$$F_T(t) = P(T<t) = 1 - P(T \ge t). \qquad (2)$$

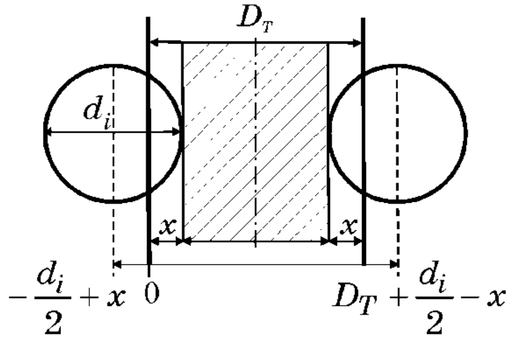

Рис. 1. Модель взаимодействия моноволоконного троса и частиц КМ диаметром d_i, $i=\overline{k,p}$

Или, с учетом (1)

$$F_T(t) = 1 - e^{-\lambda \cdot t}. \qquad (3)$$

Дифференцируя (3), находим плотность распределения T

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda \cdot t}, \ t > 0.$$

Таким образом, время жизни троса T – показательно распределенная случайная величина.

Важной характеристикой случайной величины является ее математическое ожидание. В нашем случае математическое ожидание случайной величины T представляет собой среднее время жизни троса и определяется по формуле

$$m_T = M[T] = \int_0^\infty t f(t) dt = \lambda \int_0^\infty t e^{-\lambda \cdot t} dt,$$

интегрируя по частям, получаем

$$m_T = \frac{1}{\lambda}.$$

Таким образом, $\dfrac{1}{\lambda}$ — среднее время жизни троса КТС в случае, когда трос является моноволоконным. Тогда получим оценку времени t_0, на протяжении которого трос с заданной вероятностью P^0 не будет разрушен

$$t_0 = -\frac{\ln P^0}{\lambda}.$$

ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВРЕМЕНИ ВЫЖИВАНИЯ ДЛЯ ДВУХВОЛОКОННОГО ТРОСА

Рассматривается простейшая модель многоволоконного троса. Предполагается, что трос состоит из двух идентичных волокон (рис. 2) каждый из которых имеет круглое поперечное сечение диаметром D_{TV}. Волокна находятся на некотором расстоянии друг от друга Δy. Частицы космического мусора имеют сферическую форму с некоторым диаметром d_i ($d_i \geq x$), $i = \overline{k, p}$, при условии, что $d_1 < d_2 < \ldots < d_p$.

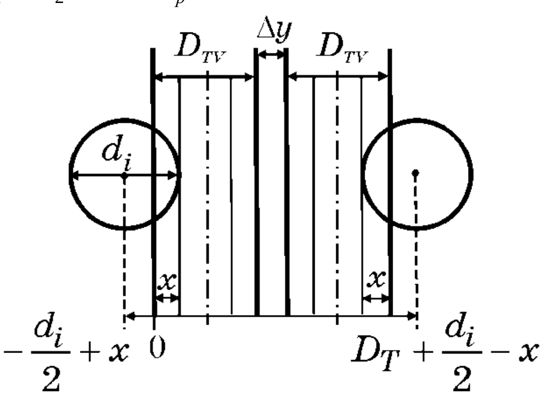

Рис. 2. Модель двухволоконного троса

Для модели двухволоконного троса предполагается, что есть потоки частиц КМ, которые могут:

- перебить только одно из двух волокон;
- перебить трос, т.е. два волокна одновременно.

Исходя из этого предположения, выделяем два суммарных потока частиц КМ, с размерами в диапазонах $x \leq d_i < \Delta y + 2x$ и $d_i \geq \Delta y + 2x$, представляющих опасность для троса. Интенсивности этих суммарных потоков определяются ниже.

Интенсивность суммарного потока частиц КМ, которые могут перебить только одно волокно. Как и в случае моноволоконного троса, потоки частиц КМ с размерами в диапазоне $x \leq d_i < \Delta y + 2x$ могут перебить волокно диаметром D_{TV}, если х удовлетворяет условию

$$-\frac{d_i}{2} + x \leq \xi \leq D_{TV} - x + \frac{d_i}{2}, \qquad \text{где} \qquad i = \overline{k, j},$$

$$j = \max\{i : d_i < \Delta y + 2x\}.$$

Пусть $\lambda_{1,i}^{(1)}$, $i = \overline{k, j}$ интенсивность потока частиц КМ диаметром d_i в единицу времени, равная

$$\lambda_{1,i}^{(1)} = \Delta F_i S_1^{(1)}(d_i), \ i = \overline{k, j},$$

где $S_1^{(1)}(d_i)$ — приведенная площадь продольного сечения волокна заданного диаметра D_{TV} для i-го потока частиц КМ, равная

$$S_1^{(1)}(d_i) = L(D_{TV} + d_i - 2x), \quad i = \overline{k, j}.$$

Потоки частиц КМ, размеры которых находятся в диапазоне $d_i \geq \Delta y + 2x$, могут перебить также только одно волокно, если х лежит на участке $-\dfrac{d_i}{2} + x \leq \xi < D_{TV} + \Delta y + x - \dfrac{d_i}{2}$, $i = \overline{j+1, p}$, $j = \max\{i : d_i < \Delta y + 2x\}$.

Интенсивность $\lambda_{1,i}^{(2)}$, $i = \overline{j+1, p}$ в этом случае определяется формулой

$$\lambda_{1,i}^{(2)} = \Delta F_i S_1^{(2)}(d_i),$$

где

$$S_1^{(2)}(d_i) = L(D_{TV} + \Delta y).$$

Тогда интенсивность λ_1 суммарного потока частиц КМ, которые могут перебить только одно волокно, равна

$$\lambda_1 = \sum_{i=k}^{j} \lambda_{1,i}^{(1)} + \sum_{i=j+1}^{p} \lambda_{1,i}^{(2)}.$$

Интенсивность суммарного потока частиц, которые перебивают два волокна одновременно. Потоки частиц КМ с размерами в диапазоне $d_i \geq \Delta y + 2x$ могут перебить трос диаметром $D_T = 2D_{TV} + \Delta y$, в том случае, если х лежит на участке

$$D_{TV}+\Delta y-\frac{d_i}{2}+x\le\xi\le D_{TV}-x+\frac{d_i}{2},$$
$$i=\overline{j+1,p},\ j=\max\{i:d_i<\Delta y+2x\}.$$

Интенсивность каждого такого потока частиц $\lambda_{2,i}$, $i=\overline{j+1,p}$ определяется формулой

$$\lambda_{2,i}=\Delta F_i S_2(d_i),\ i=\overline{j+1,p},$$

где

$$S_2(d_i)=L(d_i-\Delta y-2x).$$

Тогда интенсивность λ_2 суммарного потока частиц, которые могут перебить трос, определяется суммой всех $\lambda_{2,i}$, $i=\overline{j+1,p}$

$$\lambda_2=\sum_{i=j+1}^{p}\lambda_{2,i},\quad i=\overline{j+1,p}.$$

Вероятностные оценки времени выживания для двухволоконного троса. Как и в случае моноволоконного троса считаем, что суммарный поток частиц КМ, которые могут перебить два волокна одновременно и суммарный поток частиц, которые перебивают только одно волокно, представляют собой стационарные пуассоновские потоки [16], с интенсивностями λ_1 и λ_2 соответственно.

Пусть T — случайная величина, описывающая время жизни двухволоконного троса, $P_T(t)$ — вероятность того, что время жизни троса больше t. Тогда, исходя из (1) справедливо равенство

$$P_T(t)=P_0(t),\tag{4}$$

где $P_0(t)$ – вероятность неразрушения троса на интервале времени t. Величина $P_0(t)$ определяется как сумма вероятностей того, что за время t не будет перебито ни одного волокна и, что за время t будет перебито только одно волокно, т.е.

$$P_0(t)=(P_1(t))^2P_2(t)+2P_1(t)(1-P_1(t))P_2(t),\tag{5}$$

где $P_1(t)$ – вероятность того, что частицами первого суммарного потока (потока частиц с интенсивностью λ_1) не будет перебито ни одного волокна;

$P_2(t)$ – вероятность того, что частицами второго суммарного потока (потока с интенсивностью λ_2) не будет перебит трос.

С учетом (1), $P_1(t)$, $P_2(t)$ примут вид

$$P_1(t)=e^{-\lambda_1 t},\tag{6}$$

$$P_2(t)=e^{-\lambda_2 t}.\tag{7}$$

Заметим, что

$$\lambda=\lambda_1+\lambda_2,\tag{8}$$

где λ – это интенсивность суммарного потока всех частиц КМ диаметром $d_i\ge x$, $i=\overline{p,k}$, которые могут разрушить одно волокно.

Подставив выражение (5) в (4), и учитывая (6)-(8), получаем

$$P_0(t)=2e^{-\lambda t}-e^{-(\lambda_1+\lambda)t}.\tag{9}$$

Как и в случае с моноволоконным тросом, аналогично (2), функция распределения времени жизни троса T равна

$$F(t)=1+e^{-(\lambda_1+\lambda)t}-2e^{-\lambda t}.\tag{10}$$

Дифференцируя (10) находим плотность распределения T

$$f(t)=-(\lambda_1+\lambda)e^{-(\lambda_1+\lambda)t}+2\lambda e^{-\lambda t}.$$

Среднее время жизни троса, равное математическому ожиданию величины T, распределенной по показательному закону, определяется по формуле

$$m_T=M[t]=\int_0^\infty tf(t)dt=\frac{2}{\lambda}-\frac{1}{\lambda+\lambda_1}=$$
$$=\frac{2\lambda_1+\lambda}{\lambda(\lambda+\lambda_1)}=\frac{1}{\lambda}\left(1+\frac{\lambda_1}{\lambda+\lambda_1}\right),\tag{11}$$

где $\frac{1}{\lambda}$ – среднее время жизни троса, если он состоит из одного волокна диаметром D_{TV};

$\frac{\lambda_1}{\lambda(\lambda+\lambda_1)}$ – увеличение среднего времени жизни троса, при добавлении еще одного волокна.

В предельном случае, т.е. при условии, что $\Delta y\ge d_i$, $i=\overline{k,p}$ значения λ_1 и λ равны, и среднее время жизни двухволоконного троса в 1,5 раза больше в сравнении с моноволоконным тросом (11).

Время t_0, на протяжении которого трос с заданной вероятностью P^0 не будет разрушен, определяется из следующего равенства

$$2e^{-\lambda t_0}-e^{-(\lambda_1+\lambda)t_0}=P^0.$$

Отсюда

$$t_0=-\frac{1}{\lambda}\cdot\frac{\ln(P^0)}{\ln(2-e^{-\lambda_1})}.$$

МОДЕЛИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКОЛОЗЕМНОГО КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА

Оценки интенсивностей потоков частиц КМ на конкретных высотах проводятся на основе расчетных моделей, описывающих метеорные условия и распределение космического мусора. Наиболее известные и используемые компьютерные модели– ORDEM 2000 и Master 2001, разработанные в NASA и ESA соответственно [17,18]. Эти модели созданы на основе данных, полученных при исследовании космического пространства (приборами, устанавливаемыми на метеорологических ракетах, спутниках, и т.д.) и в результате наземных измерений (радиолокационными и оптическими средствами).

Модель ORDEM 2000 применима для исследования околоземного пространства на высотах от 200 км до 2000 км. Интервал прогнозирования: 1991-2030 гг. [17].

Данная модель позволяет определять пространственную плотность космических частиц (число частиц в единице объема, $1/км^3$), их среднюю орбитальную скорость (км/с) и значения потоков частиц (число столкновений за единицу времени с единичной площадкой, $1/м^2$) на каждом сегменте заданной орбиты, а также усредненные значения полного потока для каждого заданного размера частиц на всем диапазоне высот. Исходными данными являются параметры орбиты (высота апогея и перигея, наклонение, аргумент перигея), количество сегментов N_{seg}, ($N_{seg} \in [1{,}100]$), на которое будет разделена плоскость орбиты, год наблюдения и, если наблюдение проводится с Земли географическая широта, угол азимута и высоты. Все характеристики потоков определяются для частиц размером от 10 мкм до 1 м (для шести фиксированных размеров: 10 мкм, 100 мкм, 1 мм, 1 см, 10 см, 1 м).

Модель Master 2001 (ESA Meteoroid and Space debris Terrestrial Environment Reference) применима для исследования околоземного пространства вплоть до высот геостационарной орбиты [18]. Интервал прогнозирования: 1960-2050 гг. В Master 2001, в отличие от ORDEM 2000, плотность потока — это поток частиц через поверхность некоторого объекта сферической формы с единичной площадью поперечного сечения ($1 м^2$).

В сравнении с ORDEM 2000 модель Master 2001 позволяет более точно:

- задавать положение орбиты КА (дополнительными параметрами являются долгота восходящего узла и истинная аномалия);
- задавать интервал времени (с точностью до дня);
- учитывать более широкий диапазон частиц (диаметр (м) и масса (кг) частиц могут изменяться в пределах $[10^{-6}, 100]$).

Master 2001 позволяет также учитывать источники потока частиц космического мусора и метеорных частиц, например, фрагменты космических объектов, выбросы, частицы отвалившейся краски, сезонные метеорные и астероидные потоки и т.д.

ВЫВОДЫ

Предложенные алгоритмы построены при ряде упрощающих предположений. Разрушение троса при столкновении с частицей характеризуется лишь одной величиной — выбитой частью троса. Предполагается, что эта часть в точности равна перекрытию троса и частицы. При этом не учитываются ни относительные скорости троса и частицы, ни движение частицы относительно собственного центра масс, ни возможность ее проскальзывания. Не учитываются и силы возможного электрического взаимодействия троса и частицы. Дело в том, что в ионосферной плазме, в силу большой тепловой скорости электронов, тела заряжаются отрицательно. При определении времени выживания двухволоконного троса не рассматривается возможность разрушения сразу двух волокон одной малой частицей.

Расчет интенсивности потока частиц проводится исходя из предположения, что частицы космического мусора имеют некоторый фиксированный размер из известного ряда.

В силу отмеченного, представляется, что предложенные алгоритмы дают несколько завышенные оценки вероятности разрушения троса частицами космического мусора. Тем не менее, они позволяют оценивать вероятность времени выживания троса, и, выбирать конструктивные параметры троса в соответствии с задачей создания КТС. Например, во многих задачах экспериментальных исследований КТС предполагается использовать трос длиной до 1000 м [7,9,21,22]. Продолжительность экспериментов — до месяца. Полученные оценки, показывают, что для неразрушения троса частицами космического мусора с вероятностью большей 0.98, достаточно взять моноволоконный трос диаметром не менее 1 мм.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 09-01-00384а).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Lorenzini E. C., Cosmo M.L.* Mission analysis of spinning systems for transfers from low orbits to geostationary // Journal of Spacecraft and Rockets. 2000. V.37. № 2. P.165–172.
2. *Hoyt R.P., Uphoff C.W.* Cislunar Tether Transport System // Journal of Spacecraft and Rockets. 2000. V. 37. № 2. P. 177–186.
3. *Nordley G.D., Forward R.L.* Mars-Earth Rapid Interplanetary Tether Transport System : Initial Feasibility Analysis // Journal of Propulsion and Power. 2001. V. 17. P.499–507.
4. Rapid Interplanetary Tether Transport / *R.P. Hoyt, R.L. Forward, G.D. Nordley, C.W. Uphoff* // 50th International Astronautical Congress, Netherlands, Amsterdam, Oct 1999. IAC-99-A.5.10.
5. Terminator Tether: A Spacecraft Deorbit Device / *R. L. Forward , R. P. Hoyt , C. W. Uphoff* // Journal of Spacecraft and Rockets. 2000. V. 37. № 2. P. 187–196.
6. Orbital Maneuvering with Spinning Electrodynamics Tethers / *J. Pearson* [et al.] // 2nd International Energy

Conversion Engineering Conference, Rhode Island, 16 – 19 August 2004. AIAA 2004-5715.
7. Электродинамическая тросовая система увода космических аппаратов с орбит : исследование на наноспутниках / *А. П. Алпатов, Ф. Н. Гребенкин, А. В. Мищенко, А. В. Пироженко* // Вісник дніпропетровського університету. 2006. № 2/2. С.5–10.
8. *Белецкий В.В., Левин Е.М.* Динамика космических тросовых систем. М. : Наука, 1990. 329 с.
9. Ротационное движение комических тросовых систем / *А. П. Алпатов* [и др.] Днепропетровск : Институт технической механики НАН Украины и НКА Украины, 2001. 404 с.
10. *Pradeep S., Kumar K.* Extension of tethered satellites in the atmosphere // Acta Astronautica. 2003. V. 52. P. 1–10.
11. *Anz-Meador P. D.* Tether-Debris Interactions in Low Earth Orbit // Proceedings of the American Institute of Physics Conference. 2001. V. 552. № 1. P. 525-531.
12. Benefits and risks of using electrodynamics tethers to de-orbit spacecraft / *C. Pardini, T. Hanada P. Krisko* // 57th International Astronautical Congress, 2006. IAC-06-B6.2.10.
13. *Forward R.L.* Retrive tether survival probability // 38th AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference & Exhibit, Indiana, Indianapolis, 7-10 July 2002. AIAA-2002-4047.
14. *Волошенюк О.Л., Храмов Д.А.* Оценка вероятности выживания космических тросовых систем при столкновении с частицами космического мусора // Техническая механика. 2008. № 1. С. 3–12.
15. *Lorenzini E.C., Cosmo M.L.* Tethers in Space Handbook . 3rd edition. Smithsonian Astrophysical Observatory, 1997. 241 p.
16. *Вентцель Е.С.* Теория вероятностей. М. : Высш.шк., 1998. 576 с.
17. The New NASA Orbital Debris Engineering Model ORDEM2000 / *Lion J. C., Matney M. J., Anz-Meador P. D., Kessler D.,* [et al.]. Johnson Space center, Houston, Texas, USA, 2002. NASA/TP-2002-210780.
18. The MASTER-2001 / *P. Wegener , J. Bendisch,* [et al.] // J. Advances in Space Research. 2004. V. 34, № 5. P. 959–968.
19. *Wallace B.K.* SEDS tether deployment ground test. Washington, April, 1995. P. 653–668.
20. Attitude and Orbit Determination of a Tethered Satellite System / *K. T. Alfriend, W. J. Barnds, S. L. Coffey, L. M. Stuhrenberg* // AAS/AIAA Astrodynamics Specialist Conference. Halifax, Nova Scotia, Canada, 14-17 August 1995.
21. Technology Demonstrator of a Standardized Deorbit Module Designed for CubeSat and RocketPod Applications / *Voronka N.R.* [et al.] // 19th Annual AIAA/USU Conference on Small Satellites, India, Logan, August 2005. Logan, 2005.
22. DTUSat-1 Homepage. URL: http://dtusat1.dtusat.dtu.dk (дата обращения 10.09.2009).

DEFINITION OF A SURVIVAL TIME OF SPACE CORD SYSTEM

© 2010 V.S. Aslanov[1], A.V. Pirozhenko[2], O.L. Voloshenjuk[2], A.V. Kislov[1], A.V. Yaschuk[2]

[1] Samara State Aerospace University
[2] Institute of Technical Mechanics National Academy of Science of Ukraine & National Space Agency of Ukraine, Dnepropetrovsk

Algorithms of definition of probability of a survival of space cord system Are offered at threat of its destruction by space particles. Particle fluxes of space dust are considered as fixed пуассоновские flows. Intensity of particle fluxes is calculated by means of known computer models ORDEM 2000, Master 2001. On the basis of it it is possible likelihood estimations of a survival time of a cable are determined and, its constructive characteristics are chosen.

Keywords: space cord systems, space dust, estimations of a survival time, model of pollution of a near-earth space

Vladimir Aslanov , Doctor of Technics, Professor, Head at the Theoretical Mechanics Department. E-mail: aslanov_vs@mail.ru.
Alexander Pirozhenko, Doctor of Physics and Mathematics, Leading Research Fellow. E-mail: alex.pirozhenko@mail.ru.
Oksana Voloshenjuk, Associate Research Fellow. E-mail: oksana.dnepr@gmail.com
Alexandr Kislov, Candidate of Technics, Associate Professor at the Theoretical Mechanics Department. E-mail: alexkislov2008@mail.ru
Alena Yaschuk, Graduate Student. E-mail: revolt@navy.dp.ua