

## ВЕРОЯТНОСТНАЯ МОДЕЛЬ МИКРОУСКОРЕНИЙ СО СЛУЧАЙНЫМ ЛОГАРИФМИЧЕСКИМ ДЕКРЕМЕНТОМ

© 2012 А.В. Седельников

Самарский государственный аэрокосмический университета имени академика С.П. Королева  
(национальный исследовательский университет)

Поступила в редакцию 10.09.2012

В работе строится вероятностная модель микроускорений, создаваемых благодаря эволюции космической лаборатории вокруг центра масс, с учетом случайности демпфирующих характеристик больших упругих элементов. Эта случайность обусловлена существенной зависимостью логарифмического декремента от температуры. При движении по орбите космическая лаборатория может периодически оказываться в тени Земли, подвергаясь тепловому удару при погружении в тень и выходе из нее. Построенная модель полезна для проектирования космической лаборатории специализированного технологического назначения, предназначенной для проведения на ее борту гравитационно-чувствительных процессов.

Ключевые слова: вероятностная модель, случайный логарифмический декремент, микроускорения, космическая лаборатория, гравитационно-чувствительные процессы.

### 1. ВВЕДЕНИЕ

Предметом исследования является специализированная космическая лаборатория технологического назначения. На ее борту предполагается проводить гравитационно-чувствительные процессы, для успешной реализации которых необходимо удовлетворить требования по предельно допустимому уровню микроускорений, образующихся во внутренней среде лаборатории от воздействия различных факторов.

К проектам космических лабораторий сегодня проявляется повышенный интерес, поскольку в больших пилотируемых орбитальных комплексах создать благоприятные условия не удается. Это подтверждается оценками микроускорений на борту советских станций: “Салют-6, 7” [1], “Мир” [2, 3]; международной космической станции [4]; а также зарубежных космических станциях: “Skylab” [5], “Freedom” [6]. Требуется автономный беспилотный космический аппарат (КА).

При наличии в конструктивно-компоновочной схеме КА панелей солнечных батарей (ПСБ) как основного источника электроэнергии возникает необходимость жесткой ориентации КА на орбите с целью минимизации угла между нормалью к ПСБ и направлением на Солнце. Это требование диктует необходимость периодического использования двигателей системы ориентации и управления движением КА (УРД), которые при включении возбуждают колебания ПСБ и дру-

гих больших упругих элементов. Эти колебания, согласно исследованиям [2, 7], являются основным источником микроускорений. Попытки использования КА без ПСБ (например, серия “ФОТОН”) показали, что благоприятные условия на аппаратах подобного типа выполняются [9-12], однако низкая энергооборуженность аккумуляторов, а также малый срок активного существования (до 18 суток) не позволяют рассматривать эти КА как прообраз космического миницеха, осуществляющего серийное производство в космосе.

Эксперименты в области ракетно-космической техники являются дорогостоящими, поэтому для исследования поля микроускорений внутренней среды космической лаборатории очень важную роль играет математическое моделирование. В СССР и России разрабатывались два проекта космических лабораторий: “НИКА-Т”, который не был реализован, и “ОКА-Т”, разрабатываемый в настоящее время [7].

### 2. ФИЗИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ

Рассматривается космическая лаборатория, обладающая большими упругими элементами и ориентируемая периодически с помощью УРД. Для построения физической модели вводятся упрощающие гипотезы [7]:

1. Модель движения КА – пространственное вращение вокруг центра;
2. Микроускорения создаются за счет колебаний упругих элементов после единичного включения УРД;
3. Модель демпфирования собственных колебаний упругих элементов – вязкое трение.

*Седейников Андрей Валерьевич, кандидат физико-математических наук, докторант кафедры конструкции и проектирования двигателей летательных аппаратов.  
E-mail: axe\_backdraft@inbox.ru*

Далее выводятся уравнения физической модели [8]:

$$\begin{aligned}
 I_{xx}\varepsilon_x + \sum_{k=1}^n \rho_k h_k \int_0^{a_k} \int_0^{b_k} [\alpha_{11}^k (Ry_k + v_k) - \alpha_{12}^k (Rx_k + s_k)] \frac{\partial^2 w_k}{\partial t^2} dv_k ds_k &= M_x \\
 I_{yy}\varepsilon_y + \sum_{k=1}^n \rho_k h_k \int_0^{a_k} \int_0^{b_k} [\alpha_{21}^k (Ry_k + v_k) - \alpha_{22}^k (Rx_k + s_k)] \frac{\partial^2 w_k}{\partial t^2} dv_k ds_k &= M_y \quad (1) \\
 I_{zz}\varepsilon_z + \sum_{k=1}^n \rho_k h_k \int_0^{a_k} \int_0^{b_k} [\alpha_{31}^k (Ry_k + v_k) - \alpha_{32}^k (Rx_k + s_k)] \frac{\partial^2 w_k}{\partial t^2} dv_k ds_k &= M_z
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial^2 w_k}{\partial t^2} + \varepsilon_{xk} (Ry_k + v_k) - \varepsilon_{yk} (Rx_k + s_k) + \\
 + \frac{1}{\rho_k h_k} \left( D_{1k} \frac{\partial^4 w_k}{\partial s_k^4} + D_{2k} \frac{\partial^4 w_k}{\partial v_k^4} + 2D_{12k} \frac{\partial^4 w_k}{\partial s_k^2 \partial v_k^2} \right) = 0,
 \end{aligned}$$

где  $I_{xx}, I_{yy}, I_{zz}$  – тензор инерции КА в главных осях,  $\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z$  и  $\varepsilon_{xk}, \varepsilon_{yk}, \varepsilon_{zk}$  – проекции вектора углового ускорения на оси связанной и  $k$ -й местной систем координат,  $\alpha_{ij}^k$  – тензор направляющих косинусов между  $k$ -м упругим элементом и связанной системой координат,  $s_k, v_k, w_k$  – компоненты вектора, определяющего положение точек  $k$ -го упругого элемента в  $k$ -й местной системе координат,  $Rx_k, Ry_k, Rz_k$  – координаты точки крепления  $k$ -го упругого элемента в связанной системе координат,  $D_{1k}, D_{2k}, D_{12k}$  – жесткость  $k$ -го упругого элемента в продольном, поперечном направлениях на изгиб и при сдвиге соответственно,  $\rho_k$  – плотность,  $h_k$  – толщина,  $a_k$  – длина,  $b_k$  – ширина  $k$ -го упругого элемента,  $M_x, M_y, M_z$  – проекции вектора возмущающего момента на оси связанной системы координат,  $n$  – число упругих элементов КА.

Упругие элементы в системе (1) моделируются однородными ортотропными пластинами. При балочном представлении упругого элемента вместо последнего уравнения (1) необходимо записать [9]:

$$\left. \begin{aligned}
 \frac{\partial^2 v_k}{\partial t^2} + \varepsilon_{zk} (Rx_k + s_k) - \varepsilon_{xk} (Rz_k + w_k) + \frac{EJ_{k3}}{\mu_k} \frac{\partial^4 v_k}{\partial s_k^4} &= 0 \\
 \frac{\partial^2 w_k}{\partial t^2} + \varepsilon_{xk} (Ry_k + v_k) - \varepsilon_{yk} (Rx_k + s_k) + \frac{EJ_{k2}}{\mu_k} \frac{\partial^4 w_k}{\partial s_k^4} &= 0
 \end{aligned} \right\}$$

С помощью данной системы уравнений можно, смоделировав самый неблагоприятный вариант развития событий, оценить максимальное значения модуля микроускорений и динамику его изменения во времени [7]. Если это значение окажется меньше допустимого, то следует гарантировать выполнение благоприятных условий. Однако эта оценка является точечной и не предусматривает иных вариантов развития событий, а также оценку вероятности реализации самого неблагоприятного варианта. Поэтому ее следует рассматривать как фундамент для построения вероятностной модели, учитывающей все возмож-

ные варианты развития событий. Такой подход дает более реалистичную оценку, однако придется отказаться от гарантии выполнения условий, а лишь оценивать вероятность выполнения.

### 3. ГИПОТЕЗЫ ВЕРОЯТНОСТНОЙ МОДЕЛИ

Предполагаем, что благоприятные условия нарушаются с вероятностью 1 во время работы УРД, поэтому все гравитационно-чувствительные процессы следует проводить между включениями двигателей. Будем также считать невероятным событием включение одновременно более одного УРД. Эти соображения являются аксиомами, нарушение которых приводит либо к невозможности эффективной ориентации (тяга УРД, не нарушающая благоприятные условия, будет недостаточной для выполнения задач ориентации), либо к нештатной ситуации, в которой решение поставленной в работе задачи не имеет смысла. Упрощающие гипотезы для построения модели с одной случайной величиной выглядят следующим образом:

1. Время между двумя последовательными включениями УРД одинаково.
2. Время работы УРД одинаково для всех включений.
3. Тяга двигателя постоянна как вектор.
4. Колебания упругих элементов полностью затухают между двумя последовательными включениями УРД.
5. Распределение потенциальной энергии деформаций упругих элементов по формам колебаний между двумя последовательными включениями УРД одинаково.
6. Все физические свойства реальных объектов (упругих элементов, узлов крепления и т.д.) инвариантны относительно временного параметра.

Обсудим эти допущения. Строго говоря, время между двумя включениями двигателя является случайным и соответствует времени накопления гиро-маховичными устройствами КА критического значения кинетического момента, который подлежит нивелированию за счет импульсного включения УРД. Накопление этого момента напрямую связано с процессом разориентации КА под действием, в том числе, и случайных факторов. Однако если время проведения технологического процесса будет меньше времени между включениями УРД, т.е. будет создан определенный регулируемый временной запас, то упрощение, связанное с введением гипотезы 1, окажется несущественным с точки зрения практических задач.

Время работы УРД также случайно, однако дисперсия этой случайной величины настолько мала, что даже при прогнозировании динамики микроускорений, не говоря уже об оценке выпол-

нения благоприятных условий, эта гипотеза практически не повлияет на точность.

Гипотеза 3 допустима только для оценочных расчетов, поскольку на практике существует понятие разброса тяги двигателя. Причем, этот разброс связан как с величиной, так и с направлением вектора.

Гипотеза 4 выполняется тем точнее, чем больше временной интервал между включениями УРД. На практике существует много различных способов для его увеличения (например, [9]), поэтому введение данной гипотезы практически не ухудшает точность оценки. Строго говоря, значение потенциальной энергии деформации упругого элемента КА на момент включения УРД является случайной величиной, которая влияет на напряженно-деформированное состояние элемента после выключения двигателя, а, следовательно, и на поле микроускорений.

Гипотеза 5 означает отсутствие стохастической зависимости между потенциальной энергией деформации упругих элементов и полем микроускорений. Она вполне приемлема, когда определяющей является первая форма собственных колебаний.

Гипотезу 6 можно использовать, если орбита КА не содержит теневых участков, когда КА периодически оказывается в тени Земли. Если это не так, то она недопустима даже для оценочных расчетов.

Таким образом, в данной постановке случайным является включение конкретного УРД. Поскольку различные двигатели вызывают разные по амплитуде колебания упругих элементов, то микроускорения могут быть представлены случайным процессом с конечным числом реализаций, соответствующих числу двигателей.

#### 4. ВЕРОЯТНОСТНАЯ МОДЕЛЬ С ПОСТОЯННЫМ ЛОГАРИФМИЧЕСКИМ ДЕКРЕМЕНТОМ

В [10] рассмотрен пример КА типа “НИКА-Т”, оснащенного шестью различными УРД. С помощью канонического разложения [11], микроускорения представлены в виде:

$$W(t) = MW + \frac{R}{I} \sum_{i=1}^{\infty} (M_{0i} - \bar{M}_{0i}) e^{-\beta_i t} \cos(\omega_i t), \quad (2)$$

где  $MW$  – математическое ожидание  $W(t)$ ,  $M_{0i}$  и  $\bar{M}_{0i}$  – соответственно момент, возникающий в заделке упругого элемента в корпус космического аппарата (КА) от собственных колебаний упругого элемента по  $i$ -й собственной форме и его математическое ожидание,  $R$  – радиус-вектор точки расположения технологического оборудования относительно центра масс,  $I$  – момент инерции КА,  $\omega_i$  – собственная частота колебаний  $i$ -го тона, а  $b_i$  – коэффициент затуха-

ния, который определяется формулой [12]:

$$\beta_i = \frac{\delta_i \omega_i}{2\pi} = \delta_i f_i, \quad (3)$$

где  $d_i$  – логарифмический декремент, соответствующий  $i$ -й собственной форме, а  $f_i$  – собственная циклическая частота колебаний  $i$ -го тона.

Поскольку разложение (2) полностью соответствует разложению колебаний по собственным формам [13], то при балочном представлении упругих элементов можно определить момент, возникающий в заделке, как:

$$\begin{aligned} M_{0i} &= \frac{\mu M}{I} C_i \int_0^l (x+s) [ch k_i x - \cos k_i x - \alpha_i (sh k_i x - \sin k_i x)] dx = \\ &= \frac{\mu M}{I k_i} C_i \{ (l+s) [sh k_i l - \sin k_i l - \alpha_i (-2 + ch k_i l + \cos k_i l)] + \\ &+ \frac{1}{k_i} [\cos k_i l - ch k_i l + \alpha_i (sh k_i l + \sin k_i l)] \}, \end{aligned}$$

где  $C_i$  – константа, с точностью до которой определяется функция формы при консольном закреплении упругого элемента [13],  $m$  – погонная масса,  $l$  – длина упругого элемента,  $k_i l$  –  $i$ -й корень уравнения:  $ch k l \cos k l + 1 = 0$ ,

$$\alpha_i = \frac{ch k_i l + \cos k_i l}{sh k_i l + \sin k_i l}, \text{ а } M - \text{ проекция момента}$$

УРД на плоскость, перпендикулярную плоскости упругих элементов.

Подставляя это выражение в (2), получим:

$$\begin{aligned} W(t) &= MW + \frac{R}{I} \sum_{i=1}^{\infty} \left( \frac{\mu M}{I k_i} C_i \{ (l+s) [sh k_i l - \sin k_i l - \alpha_i (-2 + ch k_i l + \cos k_i l)] + \right. \\ &+ \left. \frac{1}{k_i} [\cos k_i l - ch k_i l + \alpha_i (sh k_i l + \sin k_i l)] \} - \bar{M}_{0i} \right) e^{-\beta_i t} \cos(\omega_i t). \quad (4) \end{aligned}$$

В (4) случайной величиной является  $M$ , поэтому для  $\bar{M}_{0i}$  можно записать:

$$\begin{aligned} \bar{M}_{0i} &= \frac{\mu M}{I k_i} C_i \{ (l+s) [sh k_i l - \sin k_i l - \alpha_i (-2 + ch k_i l + \cos k_i l)] + \\ &+ \frac{1}{k_i} [\cos k_i l - ch k_i l + \alpha_i (sh k_i l + \sin k_i l)] \}. \end{aligned}$$

Тогда (4) можно преобразовать к виду:

$$\begin{aligned} W(t) &= MW + \frac{\mu R}{I^2} \sum_{i=1}^{\infty} \left( \frac{M - \bar{M}}{k_i} C_i \{ (l+s) [sh k_i l - \sin k_i l - \alpha_i (-2 + ch k_i l + \cos k_i l)] + \right. \\ &+ \left. \frac{1}{k_i} [\cos k_i l - ch k_i l + \alpha_i (sh k_i l + \sin k_i l)] \} \right) e^{-\beta_i t} \cos(\omega_i t), \quad (5) \end{aligned}$$

где  $\bar{M}$  – математическое ожидание  $M$ .

#### 5. ПРЕДПОСЫЛКИ УЧЕТА СЛУЧАЙНОСТИ ЛОГАРИФМИЧЕСКОГО ДЕКРЕМЕНТА

При анализе движения КА типа “НИКА-Т” по орбите при нулевом наклонении и представлении упругих элементов однородными ортот-

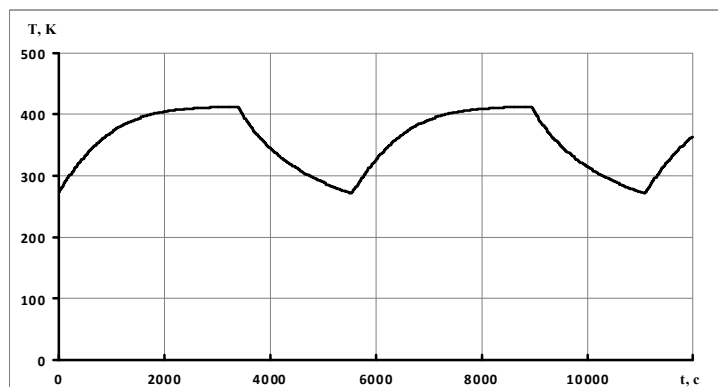


Рис. 1. Динамика температуры упругого элемента КА при движении по орбите

ропными пластинами можно получить динамику температуры этих элементов (рис. 1).

Данный результат получен из уравнения теплопроводности [14]:

$$c\rho \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + q_v(t)$$

при граничных условиях:

$$-\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{x=0} = \varepsilon \sigma \left( T^4(x; t) \Big|_{x=0} - T_c^4 \right),$$

где  $\lambda$  – теплопроводность,  $c$  – удельная теплоемкость,  $\rho$  – плотность,  $\varepsilon$  – интегральный коэффициент теплового излучения упругого элемента,  $\sigma$  – постоянная

Стефана-Больцмана,  $T(x; t) \Big|_{x=l}$  – поле температур на поверхности пластины,  $T_c$  – температура окружающей среды,  $q_v(t) = -\frac{2\varepsilon\sigma}{l} (T^4(0; t) - T_c^4)$  – локальная удельная мощность тепловыделения элемента пластины.

Такой температурный режим не позволяет считать логарифмический декремент колебаний постоянным (рис. 2).

Поскольку заранее неизвестно, на каком участке орбиты включится УРД, то температура упругого элемента, а, следовательно, и логарифми-

ческий декремент на момент выключения двигателя будут случайны. Учет этого факта означает отказ от гипотезы 6 и построение более общей модели, чем рассмотренной в предыдущем разделе.

### 6. МОДЕЛЬ СО СЛУЧАЙНЫМ ЛОГАРИФМИЧЕСКИМ ДЕКРЕМЕНТОМ

Случайность логарифмического декремента приводит к случайности коэффициента потерь, определяемого (3). Поэтому в (5) уже два параметра являются случайными, а само разложение уже не является каноническим. Рассмотрим постановку задачи с переменной высотой орбиты КА, которую будем считать круговой (рис. 3).

На рис. 3 введены следующие обозначения:  $R_\oplus$  – радиус Земли,  $R_\odot$  – радиус Солнца,  $\rho_\oplus$  – расстояние от Земли до Солнца,  $h$  – высота круговой орбиты КА.

FE – теневой участок орбиты КА, причём, считая Солнце и Землю идеальными окружностями, можно определить координаты точек F и E:

$$y_E = -R_\oplus \frac{R_\odot - R_\oplus}{-\rho_\oplus} - \sqrt{R_\oplus^2 \left( \frac{R_\odot - R_\oplus}{-\rho_\oplus} \right)^2 + (2R_\oplus h + h^2)}; \quad (6)$$

$$x_E = y_E \frac{R_\odot - R_\oplus}{-\rho_\oplus} + R_\oplus; \quad y_F = y_E; \quad x_F = -x_E.$$

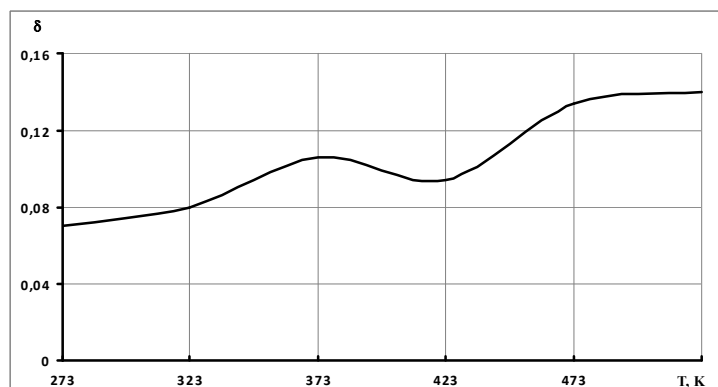


Рис. 2. Динамика логарифмического декремента первой формы собственных колебаний для материала MA2 [15]

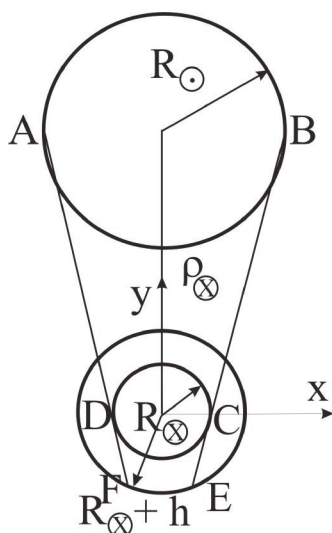


Рис. 3. Орбита КА с теневым участком

Однако схема, показанная на рис. 3, справедлива для нулевого наклонения орбиты. Рассмотрим произвольное наклонение (рис. 4).

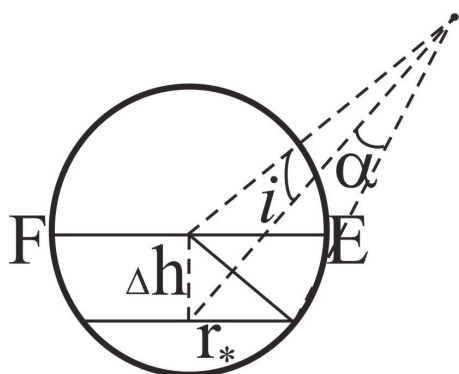


Рис. 4. Учет наклонения орбиты КА

На рис. 4 центр Земли обозначен точкой. Радиус показанной окружности равен  $x_E$ . Видно, что при определенном наклонении КА вообще не будет попадать в тень Земли. Условием этого является:  $r_* = 0$  или  $\Delta h = x_E$ . Тогда легко получить искомое значение  $i$ , используя теорему косинусов:

$$i_* = \arccos \left\{ 1 - \frac{R_{\odot}}{2(R_{\odot} + h)^2} \left[ 1 - \left( \frac{R_{\odot} - R_{\oplus}}{-\rho_{\odot}} \right)^2 \right] - \left( \frac{R_{\odot} - R_{\oplus}}{-\rho_{\odot}} \right) \sqrt{R_{\odot}^2 \left( \frac{R_{\odot} - R_{\oplus}}{-\rho_{\odot}} \right)^2 + 2R_{\odot} h + h^2} \right\}. \quad (7)$$

Таким образом, при решении поставленной задачи имеет смысл рассматривать наклонения орбиты в пределах  $0 \leq i < i_*$ . На практике этот диапазон может быть еще уменьшен за счет того, что при незначительном погружении КА в тень Земли изменением температуры больших упругих элементов можно пренебречь. Однако этот вопрос требует отдельного рассмотрения.

В выбранной постановке  $\Delta h$  является функцией двух переменных:

$$\Delta h = (R_{\odot} + h) \sqrt{2(1 - \cos i)}.$$

Тогда центральный угол, определяющий теневой участок орбиты, определится соотношением:

$$\alpha = 2 \arccos \left[ 1 - \frac{r_*^2}{2(R_{\odot} + h)^2} \right],$$

где  $r_* = \sqrt{x_E^2 - \Delta h^2}$ . При этом длина теневого участка орбиты определится:

$$L_* = \alpha(R_{\odot} + h),$$

а время пребывания в тени:

$$t_* = t_0 \frac{\alpha}{2\pi},$$

где  $t_0$  – период обращения КА вокруг Земли.

Таким образом, температура большого упругого элемента в данной постановке является функцией четырех переменных:  $T = T(x, t, h, i)$ .

Для фиксированной высоты орбиты, например, КА типа “НИКА-Т”, рассмотренного в предыдущем разделе, двумерный график (рис. 1) с учетом переменности наклонения орбиты превратится в трехмерный (рис. 5). При наклонении  $i > 56^\circ$  КА в тень Земли заходить не будет.

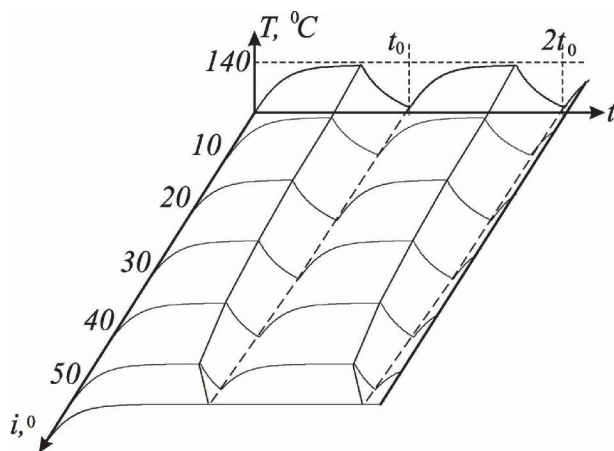


Рис. 5. Зависимость температуры большого упругого элемента КА от времени при переменном наклонении орбиты

Оценка интервальным методом закона распределения декремента как случайной величины с использованием рис. 2 при переменном наклонении дает следующие результаты (см. рис. 6).

Более темным цветом на рис. 6 отмечен закон распределения, соответствующий нулевому наклонению орбиты.

Закон распределения (рис. 6) зависит от множества факторов, таких как демпфирующие (рис. 2) и термодинамические свойства материала, собственная частота колебаний ПСБ, высота и наклонение орбиты КА, а также ряда других.

## 7. Заключение

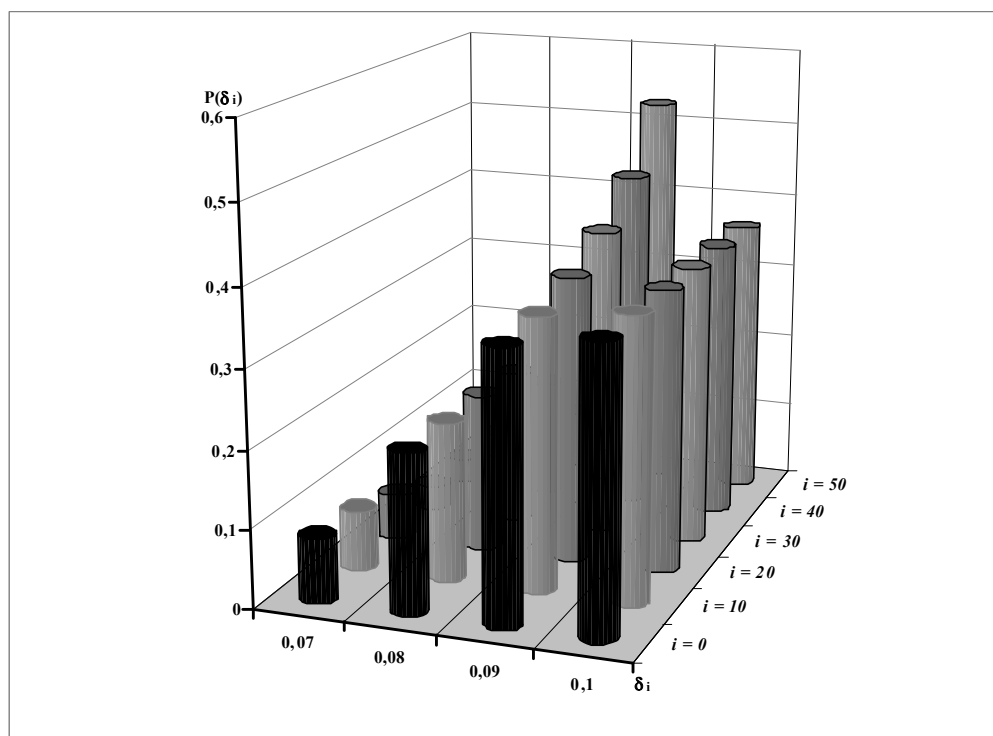


Рис. 6. Закон распределения  $\delta$  при различных наклонениях орбиты

Проведенные исследования демонстрируют актуальность учета случайности логарифмического декремента при оценке микроускорений внутренней среды КА.

Во-первых, такая модель дает более верную картину объекта исследований, которым является поле микроускорений.

Во-вторых, используя полученные результаты, возможно на этапе раннего проектирования КА подобрать такие условия, при которых микроускорения отвечали бы заданным требованиям благоприятности проведения на борту КА тех или иных гравитационно-чувствительных технологических процессов. Например, при  $i > 56^\circ$  КА типа “НИКА-Т” не окажется в тени Земли, а, следовательно, логарифмический декремент в этом случае можно считать постоянным.

Представлены результаты численного моделирования зависимости закона распределения логарифмического декремента ПСБ КА типа “НИКА-Т”, каркас которых изготовлен из МА2 с учетом переменного наклонения орбиты КА.

Результаты работы могут быть использованы при проектировании космической лаборатории специализированного технологического назначения.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Определение микроускорений на орбитальных комплексах “Салют-6” и “Салют-7” / В.А.Сарычев, М.Ю.Беляев, В.В.Сазонов, Т.Н.Тян // Космические исследования. 1986. Т. XXIV. № 3. С. 337-344.

2. Расчет микроускорений на орбитальном комплексе “Мир” / И.А.Березин, В.В.Сазонов, В.М.Стажков // Труды XXV Чтений К.Э. Циолковского. М. 1991. С. 22-31.
3. Об измерении квазистатической компоненты микроускорения на борту ИСЗ с помощью датчика конвекции / С.А.Никитин, В.И.Полежаев, В.В.Сазонов // Космические исследования. 2001. Т. 39, № 2. С. 179-187.
4. Определение квазистатической компоненты микроускорения, возникающего на борту международной космической станции / Е.В.Бабкин, М.Ю.Беляев, Н.И.Ефимов, В.В.Сазонов, В.М.Стажков // Космические исследования. 2004. Т. 42. № 2. С. 162-171.
5. Фрактальная модель микроускорений: оценка и эксперименты на космической станции “Скайлэб” / А.В.Седелников, С.С.Корунтяева, Д.П.Подлеснова // Труды 3-го международного форума “Актуальные проблемы современной науки”. Естественные науки, Часть 3 Механика. Машиностроение. 2007. Самара: Изд-во СамГТУ. С. 105-109.
6. Integration of a microgravity isolation mount within a Columbus single rack / R.G. Owen, D.I. Jones, A.R. Owens, A.A. Robinson // Acta Astronautica. 1990. V. 22, P. 119-127.
7. Седелников, А.В. Проблема микроускорений: от осознания до фрактальной модели. М.: РАН. Избранные труды Российской школы по проблемам науки и технологий, 2010. 106 с.
8. Оценка микроускорений на борту космической станции “Тяньгун-1” / А.В.Седелников, Е.В.Кожевникова, А.А.Голубева // Известия Самарского научного центра РАН. 2011. Т. 13, № 4(4). С. 1027-1030.
9. Alternative solution to increase the duration of microgravity calm period on board the space laboratory / A.V. Sedelnikov, A.A. Kireeva // Acta Astronautica. 2011. V. 69, № 6-7. P. 480-484.
10. Седелников А.В. Вероятностная модель микроускорений с постоянным логарифмическим декрементом // Известия Самарского научного центра РАН. 2011. Т. 13. №4(4), С. 1022-1026.

11. *Пугачев В.С.* Теория случайных функций и ее применение к задачам автоматического управления. М.: Гостехиздат, 1957. 659 с.
12. *Тимошенко С.П.* Колебания в инженерном деле. М.: Гостехиздат, 1934. 326с.
13. *Бабаков И.М.* Теория колебаний. М.: Дрофа, 2004. 234 с.
14. *Тихонов А.Н., Самарский А.А.* Уравнения математической. М.: Наука, 1977. 736 с.
15. Рассеяние энергии при колебаниях упругих систем [под ред. Г.С Писаренко]. Киев: Наукова Думка, 1966. 304 с.

## CASUAL MODEL OF MICROACCELERATIONS WITH CASUAL LOGARITHMIC DECREMENT

© 2012 A.V. Sedelnikov

Samara State Aerospace University named after Academician S.P. Korolev  
(National Research University)

In work the casual model of the microaccelerations created thanks to evolution of space laboratory round the center of weights, taking into account accident damping characteristics of the big elastic elements is under construction. This accident is caused by essential dependence of logarithmic decrement on temperature. At movement on an orbit the space laboratory can periodically appear in a shade of the Earth, being exposed to a heatstroke at immersing in a shade and an exit from it. The constructed model is useful to designing of space laboratory of the specialized technological appointment intended for carrying out on its board of gravitaty sensitive processes.

Keywords: casual model, casual logarithmic decrement, microaccelerations, the space laboratory, gravitaty sensitive processes.