

## ОЦЕНКА МИКРОУСКОРЕНИЙ НА БОРТУ КОСМИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ «ТЯНЬГУН-1»

© 2011 А.В. Седельников, Е.В. Кожевникова, А.А. Голубева

Институт энергетики и транспорта Самарского государственного  
аэрокосмического университета

Поступила в редакцию 11.11.2011

В работе проведена оценка микроускорений внутренней среды китайской космической станции «Тяньгун-1». Выявлены зоны возможного проведения гравитационно-чувствительных процессов.

Ключевые слова: микроускорения, гравитационно-чувствительные процессы, космическая лаборатория «Тяньгун-1»

Тяньгун-1 (рис. 1) (буквально «небесный чертог, дворец») – китайская космическая станция – была запущена 29 сентября 2011 г. с космодрома Цзюцюань ракетой-носителем «Великий поход - 2FT». Задачами «Тяньгун-1» являются отработка стыковки с кораблями серии «Шэньчжоу», обеспечение жизнедеятельности, работы и безопасности космонавтов в период пребывания на борту, эксперименты в сфере космической медицины, в области использования космического пространства, а также испытания технического оборудования космической станции. Предполагается, что станция проработает на орбите два года. Поскольку часть экспериментов является гравитационно-чувствительными, возникает задача оценки микроускорений внутренней среды станции. Исследования, проведенные для космических объектов такого класса, показывают, что в поле микроускорений будет преобладать

квазистатическая компонента благодаря наличию протяженных панелей солнечных батарей (ПСБ) [1]. Поэтому для оценки воспользуемся физической моделью микроускорений, представленной в работе [2], исходя из характеристик «Тяньгун-1», представленных в табл. 1.

**Таблица 1.** Расчетные параметры космической станции типа «Тяньгун»

Параметр	Величина
диаметр станции	3,35 м
длина станции	10 м
длина ПСБ	7 м
масса станции	8500 кг
погонная масса ПСБ	15 кг/м
максимальный осевой момент инерции	70000 кг м <sup>2</sup>



**Рис. 1.** Космическая станция «Тяньгун-1»

Седельников Андрей Валерьевич, кандидат физико-математических наук, директор E-mail: axe\_backdraft@inbox.ru

Кожевникова Екатерина Викторовна, студентка  
Голубева Анастасия Александровна, студентка

С учетом гипотезы о вращательном движении КА вокруг центра масс, а также представления ПСБ однородными ортотропными пластинами, можно записать уравнения движения КА и колебания ПСБ в следующем виде:

$$\begin{aligned}
 I_{xx} \varepsilon_x + \sum_{k=1}^n \rho_k h_k \int_0^{a_k} \int_0^{b_k} [\alpha_{11}^k (Ry_k + v_k) - \alpha_{12}^k (Rx_k + s_k)] \frac{\partial^2 w_k}{\partial t^2} dv_k ds_k &= M_x \\
 I_{yy} \varepsilon_y + \sum_{k=1}^n \rho_k h_k \int_0^{a_k} \int_0^{b_k} [\alpha_{21}^k (Ry_k + v_k) - \alpha_{22}^k (Rx_k + s_k)] \frac{\partial^2 w_k}{\partial t^2} dv_k ds_k &= M_y \\
 I_{zz} \varepsilon_z + \sum_{k=1}^n \rho_k h_k \int_0^{a_k} \int_0^{b_k} [\alpha_{31}^k (Ry_k + v_k) - \alpha_{32}^k (Rx_k + s_k)] \frac{\partial^2 w_k}{\partial t^2} dv_k ds_k &= M_z \\
 \frac{\partial^2 w_k}{\partial t^2} + \varepsilon_{xk} (Ry_k + v_k) - \varepsilon_{yk} (Rx_k + s_k) + \frac{1}{\rho_k h_k} \left( D_{1k} \frac{\partial^4 w_k}{\partial s_k^4} + D_{2k} \frac{\partial^4 w_k}{\partial v_k^4} + 2D_{12k} \frac{\partial^4 w_k}{\partial s_k^2 \partial v_k^2} \right) &= 0
 \end{aligned}$$

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.

Первые три уравнения описывают эволюцию КА вокруг центра масс, а  $n$  последних – колебания упругих элементов КА. Рассмотрим расчетную схему космической станции типа «Тяньгун-1» и оценим микроускорения с учетом первых трех форм собственных колебаний при логарифмическом постоянном декременте  $\delta=0,1$ . В [3] рекомендуется учет первых шести форм собственных колебаний, однако характеристики станции, приведенные в табл. 1, не являются точными, поэтому их разброс может дать существенно большую погрешность, чем неучет влияния высших форм.

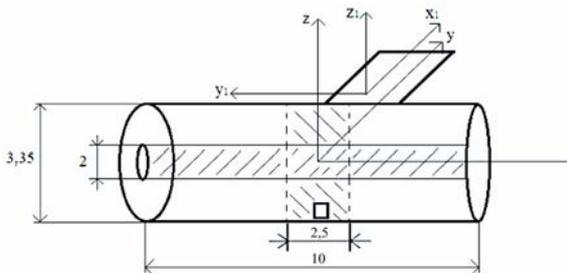


Рис. 2. Расчетная схема космической станции типа «Тяньгун-1»

При моменте, создаваемом управляющими ракетными двигателями системы ориентации и управлением движением КА (УРД), равном 10 Нм, в зоне наиболее благоприятного с точки зрения минимума микроускорений размещения технологического оборудования, которая обозначена на рис. 2 как пересечение заштрихованных областей, после выключения двигателя (при  $t=1$  с) динамика модуля микроускорений будет такой, как показана на рис. 3 (область 2).

Таким образом, в данной зоне можно осуществлять гравитационно-чувствительные технологические процессы. Следует заметить, что при построении зависимости рис. 3 не учитывалась работа оборудования станции, а также деятельность экипажа. Существуют оценки микроускорений от подобного рода возмущений, сделанные на советских космических станциях, например, [4, 5], поэтому реальные условия проведения будут хуже, чем предсказано зависимостью рис. 3. Также вряд ли следует ожидать, что на пилотируемой станции технологическое оборудование будет размещено близко к ее геометрическому центру, поскольку это существенно затруднит работу космонавтов на станции, мешая их свободному перемещению вдоль нее. Поэтому в работе была сделана оценка микроускорений в области, обозначенной на рис. 2 квадратиком внутри заштрихованной зоны. Наиболее вероятно размещение оборудования по периметру «Тяньгун-1». Результаты этой оценки представлены на рис. 3 (область 1).

Как видно из рис.3, уровень микроускорений в области 1 существенно выше и может нарушать благоприятный режим протекания некоторых гравитационно-чувствительных процессов. Поскольку для ряда процессов такие условия будут приемлемы, то для наиболее чувствительные к микроускорениям процессы можно осуществлять в специальных виброизолирующих устройствах, например, MGIM [6], которое применялось на орбитальной космической

станции «Freedom» в лабораторном модуле «Columbus», ВЗП-1 [7], испытанное на станции «Мир», или микрогравитационная платформа [8], апробация которой проводилась на КА серии «Фотон». В случае, если таких процессов будет подавляющее большинство, то следует ожидать завершения переходного процесса и проводить эксперименты вдали от момента

выключения УРД. При недостаточности времени между двумя последовательными включениями УРД можно применять дополнительные меры по увеличению этого времени, например, увеличение массы гиро-маховичных устройств или установка постоянно работающих электроракетных двигателей, увеличивающих время критической разориентации [9].

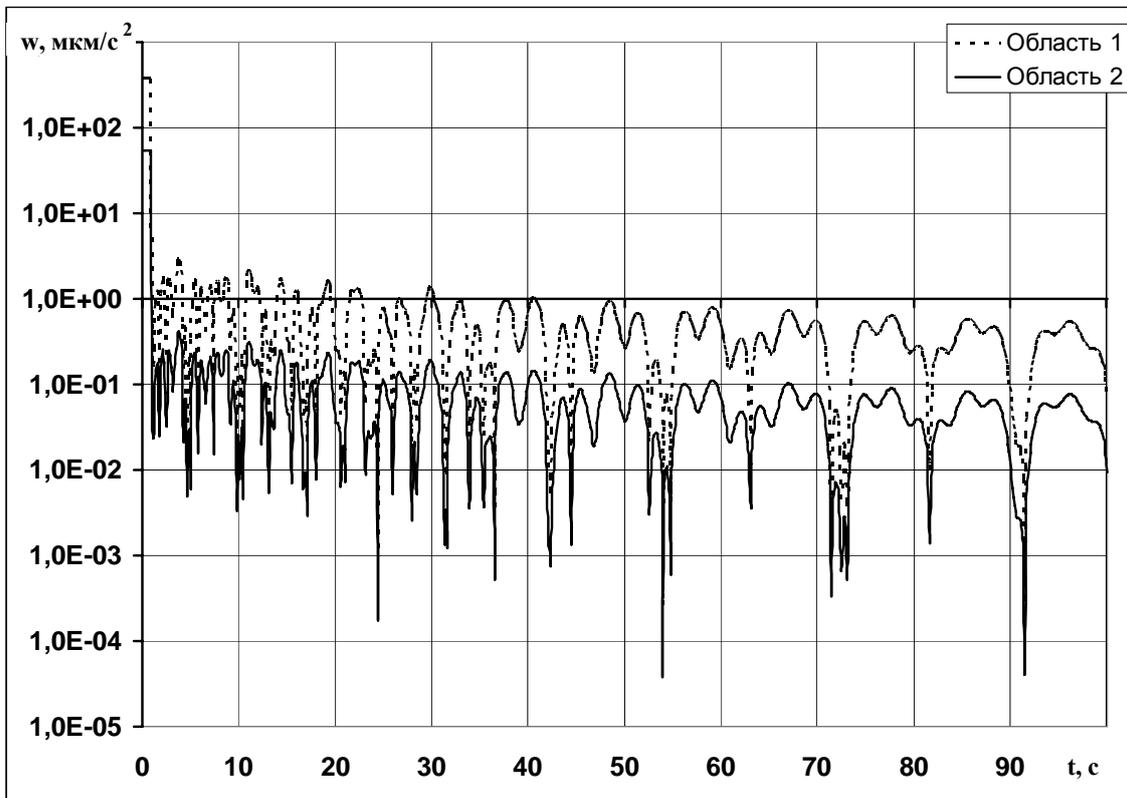


Рис. 3. Динамика микроускорений в области пересечения зон, обозначенных пунктиром на рис. 2

**Выводы:** на основе приближенных характеристик космической станции «Тяньгун-1» и проведенной оценки микроускорений можно сделать вывод о пригодности использования этой станции для проведения некоторых гравитационно-чувствительных процессов при непилотируемом режиме полета. Применение дополнительных мер по снижению микроускорений позволит расширить список успешно проводимых экспериментов. Полученная оценка может быть использована при анализе результатов проведенных экспериментов для их объяснения.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Сазонов, В.В. Определение квазистатической составляющей микроускорения на станции МИР / В.В. Сазонов, М.Ю. Беляев, Н.И. Ефимов и др. // Космические исследования. 2001. Т. 39, № 2. С. 136-147.
2. Седельников, А.В. Проблема микроускорений: от осознания до фрактальной модели. — М.: РАН. Избранные труды Российской школы, 2010. 107 с.
3. Авраменко, А.А. Моделирование поля остаточной микрогравитации на борту орбитального космического аппарата / А.А. Авраменко, А.В. Седельников // Изв. вузов. Авиационная техника. 1996. № 4. С. 22-25.
4. Березин, И.А. Расчет микроускорений на орбитальном комплексе «Мир» / И.А. Березин, Сазонов В.В., Стажков В.И // Труды XXV Чтений К.Э. Циолковского. 1991. С. 22-31.
5. Сарычев, В.А. Определение микроускорений на орбитальных комплексах «Салют-6» и «Салют-7» / В.А. Сарычев, М.Ю. Беляев, В.В. Сазонов, Т.Н. Тянь // Космические исследования. 1986. Т. XXIV, № 3. С. 337-344.
6. Owen, R.G. 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. Vol. 22. P. 127-135.
7. Левтов, В.Л. Результаты летно-космических испытаний виброзащитной платформы ВЗП-1К /

- В.Л. Левтов, В.В. Романов, А.И. Иванов и др. // Космические исследования. 2001. Том 39, № 2. С. 148-160.*
8. *Пузин, Ю.Я.* Экспериментальные исследования и выбор проектных параметров бортовой аппаратуры контроля состояния и компенсации микроускорений низкоорбитальной космической микрогравитационной платформы // Вестник СГАУ. 2010. № 2 (22). С. 134-143.
9. *Sedelnikov, A.V.* Alternative solution to increase the duration of microgravity calm period on board the space laboratory / *A.V. Sedelnikov, A.A. Kireeva // Acta Astronautica. 2011. Vol. 69, № 6-7. P. 480-484.*

## **ESTIMATION OF MICROACCELERATIONS ONBOARD THE SPACE STATION “TYANGUN-1”**

© 2011 A.V. Sedelnikov, E.V. Kozhevnikova, A.A. Golubeva

Institute of Power and Transport of Samara State Aerospace University

In paper the estimation of microaccelerations of the internal environment at Chinese space station “Tyangun-1” is spent. Zones of possible holding the gravitational-sensitive processes are determined.

Key words: *microaccelerations, gravitational-sensitive processes, space laboratory “Tyangun-1”*