

Канд. физ.-мат. наук Г.А. Иванова

ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ДЕФОРМАЦИИ СТЕРЖНЕВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИИ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Приведены результаты расчетов температурных деформаций трубчатых стержней разомкнутого профиля под действием солнечной радиации. Рассматриваемые стержни были использованы на ряде КА серии "Интеркосмос" разработки ГП "КБ "Южное" для изготовления штанги гравитационного стабилизатора и антенн большой длины. Материалом стержней является сталь и бронза. Расчеты проведены по методике, использующей аналитическую зависимость между характеристиками стержня.

Наведено результати розрахунків температурних деформацій трубчастих стрижнів розімкненого профілю під впливом сонячної радіації. Розглядувані стрижні було використано на ряді КА серії "Інтеркосмос" розроблення ДП "КБ "Південне" для виготовлення штанги гравітаційного стабілізатора й антен великої довжини. Матеріалом стрижнів є сталь і бронза. Розрахунки проведено за методикою, що використовує аналітичну залежність між характеристиками стрижня.

The paper provides the results of the analysis of temperature strains of open-profile tubular rods when exposed to solar radiation. The analyzed rods were used for a number of Interkosmos spacecraft developed by Yuzhnoye SDO for the purpose to manufacture a gravitational stabilizer rod and long antennas. The rods are made of steel and bronze. The analysis was carried out following the procedure where an analytic relationship between the rod characteristics was used.

На космических аппаратах (КА) с гравитационной системой ориентации и на КА, содержащих длинные стержневые антенны, используются трубчатые стержни разомкнутого профиля.

При выведении КА на орбиту стержни свернуты в катушки, а после выведения и освобождения наружного конца от зачековки они самопроизвольно формируются в трубки с перехлестом кромок. Длина стержней может быть практически неограниченной. При всем своем удобстве такие стержни обладают существенным недостатком – из-за одностороннего нагрева Солнцем они изгибаются, вызывая перекося тензора инерции КА и нарушая точность его ориентации. Поэтому при проектировании КА температурные деформации стержней большой длины необходимо учитывать.

В тех случаях, когда температурные деформации стержней оказывают существенное влияние на точность ориентации КА, необходим тщательный подход к выбору материала стержня. Кроме того, для уменьшения этих деформаций можно использовать обработку наружной поверхности

стержня (например, полировку или напыление другим металлом) с целью уменьшения поглощательной способности к солнечной радиации. В практике создания КА рассматриваемого класса известны случаи использования для уменьшения изгиба стержней чулка из специальной ткани.

Экспериментальная проверка в наземных условиях температурных деформаций стержней представляет определенные трудности из-за невозможности создания условий, соответствующих полетным.

Для определения температурного изгиба освещенного Солнцем стержня расчетным путем в первом приближении можно воспользоваться аналитической зависимостью для разности температур между передней и задней стенками*

* Варрен Г.Р. Использование выдвигающихся штанг для космических антенн и для управления положением спутника/Международный конгресс по астронавтике, ЮНЕСКО, Париж, 1963.

$$\Delta T = \frac{d^2}{4hk} S_0 A_s \sin \varphi_s \quad (1)$$

и для прогиба конца стержня, вызванного этой разностью температур,

$$Y = -\frac{d}{\Delta T \alpha} \ln \cos(X \frac{\Delta T \alpha}{d}), \quad (2)$$

- где d – диаметр стержня;
 h – толщина стенки;
 k – коэффициент теплопроводности;
 $S_0 = 1200$ ккал/(ч·м²) – солнечная постоянная;
 A_s – поглощательная способность поверхности стержня к солнечной радиации;
 α – коэффициент линейного расширения;
 φ_s – угол между направлением солнечных лучей и продольной осью стержня;
 X – координата, отсчитываемая по длине неизогнутого стержня.

Максимальное значение X , которое может быть задано при вычислении прогиба Y по формуле (2), определяется в соответствии с тождеством

$$\cos(X_{\max} \Delta T \cdot \alpha / d) = 0.$$

Отсюда получаем уравнение прямой

$$X_{\max} = \pi d / (2 \Delta T \cdot \alpha),$$

к которой асимптотически приближается кривая изогнутого стержня при неограниченной длине.

Характеристики наиболее часто используемых типов стержней из стали марки 36НХТЮ и бронзы марки БР БНТ1,7 приведены в таблице.

Стержням, изготовленным из стали марки 36НХТЮ, с необработанной и полированной наружными поверхностями соответствуют значения поглощательной способности поверхности стержня к солнечной радиации $A_s = 0,75; 0,22$ и степени черноты наружными поверхности $\varepsilon_n = 0,24; 0,04$ соответственно.

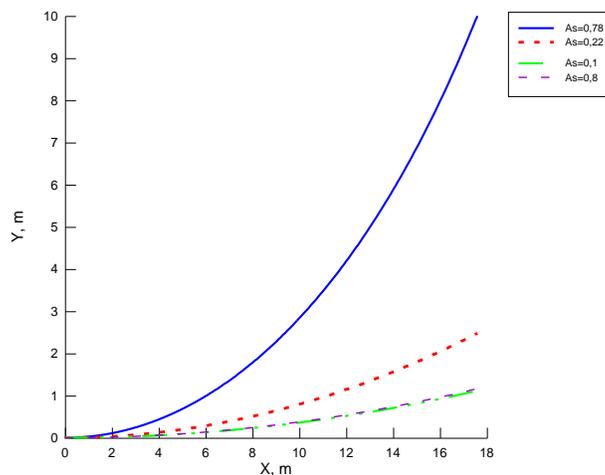
Стержням, изготовленным из бронзы марки БР БНТ1,7, с необработанной и полированной наружными поверхностями соответствуют значения $A_s = 0,8; 0,3$ и $\varepsilon_n = 0,14; 0,04$ соответственно.

Для уменьшения температурного изгиба стержней, изготовленных из стали марки 36НХТЮ, на практике используется покрытие наружной поверхности стержня алюминием. Для стержней с алюминиевым покрытием имеем $A_s = 0,1; \varepsilon_n = 0,04$.

№ п/п	Характеристика	Обозначение	Размерность	Значение	
				36НХТЮ	БР БНТ1,7
1	Ширина развертки	L	м	0,093	0,115
2	Толщина стенки	h	м	$0,15 \cdot 10^{-3}$	$0,15 \cdot 10^{-3}$
3	Радиус поперечного сечения	r	м	0,012	0,012
4	Удельный вес	γ	кг/м ³	7900	8250
5	Погонный вес	q	кг/м	0,136	0,142
6	Коэффициент теплопроводности	k	ккал/(ч·м·°С)	9,35	90
7	Удельная теплоемкость	c	ккал/(кг·°С)	0,112	0,09
8	Коэффициент линейного расширения	α	1/°С	$0,14 \cdot 10^{-4}$	$0,176 \cdot 10^{-4}$
9	Модуль Юнга	E	па	$0,19 \cdot 10^{10}$	$0,121 \cdot 10^8$
10	Степень черноты внутренней поверхности	$\varepsilon_{\text{вн}}$	–	0,24	0,14
11	Степень черноты наружной поверхности	ε_n	–	0,24; 0,04	0,14; 0,04
12	Поглощательная способность к солнечной радиации	A_s	–	0,75; 0,22	0,8; 0,3

Используя формулы (1) и (2), рассмотрим максимальный изгиб ($\varphi_s = 90^\circ$) стержней из стали марки 36НХТЮ при значениях $A_s = 0,75; 0,22$ и из бронзы марки БР БНТ1,7 при значениях $A_s = 0,8; 0,3$.

Картина изгиба стержней представлена на рисунке. При использовании рисунка длину изогнутых стержней откладывают вдоль кривых. Значение прогиба конца стержня Y отсчитывается вдоль ординаты для соответствующей длины стержня. Из рисунка видно, что стальные стержни изгибаются сильнее, чем бронзовые. Кроме того, с увеличением A_s значение прогиба возрастает.



Зависимость прогиба конца стержня от его длины и материала изготовления

Формулы (1) и (2) позволяют при известных характеристиках стержня получить оперативную оценку статического значения его изгиба под действием солнечной радиации.

Статья поступила 11.01.2014