

Особенности моделирования нагрева на орбите тонкостенных конструкций волноводно-распределительных систем космических аппаратов связи

Кудрявцев Илья Владимирович
ПИ СФУ (Красноярск), Россия
e-mail: kudrilya@rambler.ru

Новиков Евгений Сергеевич
ФГАОУ ВПО "Сибирский федеральный университет" (Красноярск), Россия

Халиманович Владимир Иванович
ОАО "Информационные спутниковые системы" им. М.Ф. Решетнева" (Железногорск), Россия

Михнёв Михаил Михайлович
ОАО "Информационные спутниковые системы" им. М.Ф. Решетнева" (Железногорск), Россия

Гоцелюк Ольга Борисовна
ОАО "Информационные спутниковые системы" им. М.Ф. Решетнева" (Железногорск), Россия

Сильченко Петр Никифорович
ФГАОУ ВПО "Сибирский федеральный университет" (Красноярск), Россия

Аннотация

Работа выполнена при поддержке гранта Президента РФ № МК-257.2013.8

Волноводно-распределительные системы (ВРС) космических аппаратов (КА) связи представляют собой пространственные конструкции в виде жёстко соединённых между собой тонкостенных элементов прямоугольного поперечного сечения, предназначенные для передачи сигналов от приёмо-передающих антенн к аппаратным блокам и обратно [1]. Проблема расчёта ВРС на статическую и динамическую прочность на этапах изготовления, сборке и вывода на орбиту КА подробно рассмотрена в [1,2]. Разработана методика расчёта ВРС в целом как стержневой конструкции с возможностью

выделения локальных участков для расчёта [1,2] более точными методами теории пластин и оболочек, на основе которых получена система дифференциальных уравнений равновесия для тонкостенного элемента ВРС с граничными условиями [3,4].

В процессе эксплуатации КА на орбите, ВРС подвергается воздействию солнечного излучения, которое приводит к нагреву областей волноводов в зоне досягаемости прямых солнечных лучей, и охлаждению остальных поверхностей волноводов, находящихся в тени от Солнца. В результате такого воздействия, будет происходить неравномерный нагрев конструкции ВРС с появлением температурных напряжений и деформаций.

В процессе работы расположение ВРС и её

элементов относительно Солнца изменяется в широком диапазоне в зависимости от точки орбиты, где находится КА. Следовательно, нагрев волноводов и полученное при этом напряжённо-деформированное состояние от температурных воздействий будет постоянно изменяющимся и неопределимым.

Выполнение термоупругого анализа для всех возможных ориентаций ВРС относительно Солнца является практически невыполнимой задачей. Из всех возможных положений ВРС относительно Солнца необходимо выбрать такое положение, которое приводит к наиболее опасному напряжённо-деформированному состоянию (НДС) от воздействия температурных излучений.

Определить направление вектора наиболее опасного температурного излучения на конструкцию ВРС КА является задачей весьма сложной, так как необходимо учитывать взаимосвязь между собой всех соединённых тонкостенных элементов прямоугольного поперечного сечения при их тепловых деформациях [5], а также их взаимодействие с платформой всего КА, на которую и устанавливается ВРС.

Предлагается на первом этапе исследовать возможные конфигурации участков ВРС на действие вектора температурных излучений различных направлений с учётом всех возможных краевых условий, определяющих установку этого участка на платформу КА.

Результаты термоупругого анализа, полученные при расчёте участков ВРС различной конфигурации показали, что наиболее опасными будут являться случаи, когда при нагреве солнечным излучением волноводов образуется критическое НДС, вызывающее остаточные пластические деформации формы прямоугольного поперечного сечения, мест соединения и крепления участков волноводов.

Помимо солнечного излучения, дополнительным источником нагрева волноводов

является выделение тепла при передаче по ним электромагнитных сигналов большой мощности. В этом случае часть сигнала рассеивается в тонком проводящем скин-слое в виде тепла, нагревая волновод изнутри.

Периодический нагрев солнечным излучением в сочетании с выделением тепла от регулярной передачи электромагнитных сигналов, с последующим охлаждением волноводов до температуры открытого космоса, приводит к появлению температурных напряжений, которые изменяются по циклическому закону. С учётом длительности срока активного существования современных КА (15-20 лет), такое циклическое нагружение может привести к тому, что число циклов «нагрев-охлаждение» достигнет предела выносливости материала волноводов с возникновением микротрещин и возможным разрушением.

Для оценки нагрева волноводов при передаче по ним электромагнитных сигналов большой мощности нами разрабатывается методика расчёта, которая позволит определять их температурные поля при различных граничных и начальных условиях, а также соответствующие им температурные напряжения.

Литература

- 1 Сильченко П.Н. Методика расчёта напряжённо-деформационного состояния волноводно-распределительных систем космических аппаратов / П.Н. Сильченко, И.В. Кудрявцев, М.М. Михнёв, В.Н. Наговицин // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Техника и технологии. 2012 г. № 2. С 150-161.
- 2 Сильченко П.Н. Анализ динамического состояния волноводно-распределительных систем от воздействия вибрационных нагрузок на этапе вывода космического аппарата на орбиту / П.Н. Сильченко, И.В. Кудрявцев, М.М. Михнёв, В.И. Халиманович, В.Н. Наговицин // Журнал Сибирского федерального университета.

Серия: Техника и технологии. 2012 г. № 2.
С. 205-219.

3 Система дифференциальных уравнений для элемента волноводного тракта космических аппаратов / Сильченко П.Н., Кудрявцев И.В., Михнев М.М. – Международная конференция по дифференциальным уравнениям и динамическим системам – Суздаль, 2-7 июля 2010 года.– С.172-174.

4 Сильченко П.Н. О проблеме решения системы дифференциальных уравнений динамического состояния волноводов при запуске космических аппаратов связи / П.Н. Сильченко, И.В. Кудрявцев – Материалы межд. научн. конф. “Обратные и некорректные задачи математической физики”, Новосибирск, 5-12 августа 2012 г. – С.327-328.

5 Сильченко П.Н. Обеспечение прочности и точности крупногабаритных волноводно-распределительных систем космических аппаратов связи / П. Н. Сильченко, М. М. Михнев, А.В. Анкудинов, И. В. Кудрявцев // Проблемы машиностроения и надёжности машин. 2012. №1. С. 112-117.