

Параметрический анализ параболической антенны космического аппарата с многовариантной схемой подкрепления

© Л.А. Бабкина, Д.В. Сорокин

Сибирский государственный аэрокосмический университет
имени академика М.Ф. Решетнева, Красноярск, 660037, Россия

Решена задача геометрического параметрического моделирования, выполнен модальный анализ параболической антенны космического аппарата с многовариантной схемой подкрепления, состоящей из системы радиальных и кольцевых ребер. Модальный анализ, используемый для определения основной частоты колебания антенны как критерия жесткости конструкции, в данной статье выполнен с помощью метода конечных элементов в пакете SolidWorks Simulation. Моделирование антенны проведено оболочечными конечными элементами с параболической аппроксимацией поля перемещения. Параметрическая модель антенны учитывает изменение толщины рефлектора, количества и толщины поперечных сечений ребер, а также координат точек крепления силового каркаса к космическому аппарату. Представлены результаты расчетов основной частоты колебаний антенны с разными вариантами сочетания проектных параметров. Выявлены конструктивные решения, обеспечивающие требуемые значения жесткости конструкции.

Ключевые слова: геометрическое моделирование, параметрическое моделирование, модальный анализ, метод конечных элементов

Введение. Один из важных элементов спутниковой системы связи — параболическая антенна с различными решениями структуры поддержки [1, 2], показанная на рис. 1.

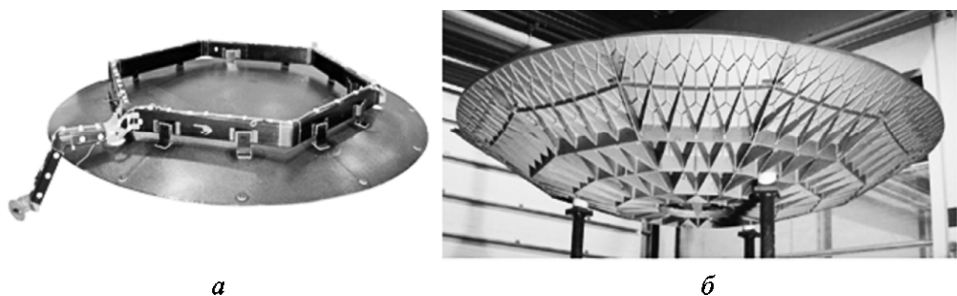


Рис. 1. Примеры размещения структуры поддержки:
а — гексагональная; *б* — сетчатая

К конструкциям спутниковых антенн предъявляются определенные требования по прочности и жесткости, обусловленные этапом вывода изделия на орбиту [3–6]. Для обеспечения гарантированной

работоспособности и длительного срока непрерывной работы элементов конструкций ракетно-космической техники широко используются методы численного эксперимента на базе систем компьютерного моделирования (CAD/CAE/CAM) на разных этапах жизненного цикла.

Цель исследования — проведение параметрического анализа, обеспечивающего выбор конструктивного решения силовой схемы и местоположения точек крепления, при которых жесткость антенны будет максимальной.

Геометрическое моделирование. Построим геометрическую модель антенны, представляющую собой параболоид вращения с радиальными и концентрическими ребрами жесткости в центре и на периферии (рис. 2).

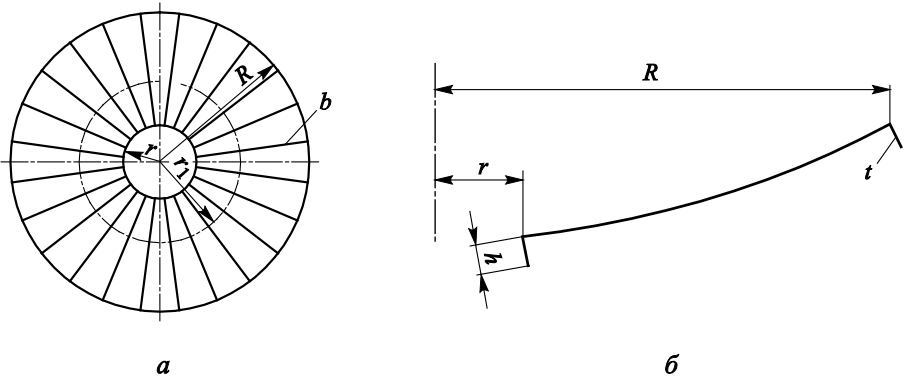


Рис. 2. Параметрическая схема модели антенны:

a — схема образования кольцевых и радиальных ребер антенны; *б* — формообразующий эскиз лепестка

Примем следующие допущения: поверхность антенны с внешним радиусом R и внутренним отверстием радиусом r формируется из 24 лепестков, при соединении которых образуются кольцевые и радиальные ребра жесткости подкрепления антенны толщиной $2t$.

Пусть антенна имеет три точки крепления, равномерно расположенные на кольцевом ребре радиусом r_1 (рис. 3).

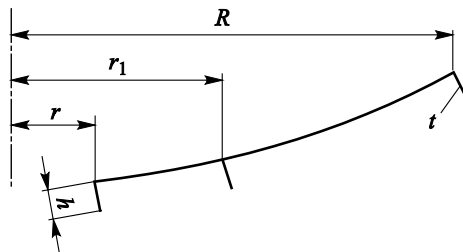


Рис. 3. Параметрическая схема с кольцевым ребром

Исходные данные для моделирования: $R = 1,488$ мм; $r = 297$ мм; $r_1 = 450$ мм, $h = 50$ мм. Диапазон изменения точек крепления на кольцевом ребре $r_1 = 450 \dots 1250$ мм, толщина поверхности зеркала антенны и кольцевых ребер $t = 1, 2, 3$ мм; толщина радиальных ребер $b = 2, 4, 6$ мм соответственно.

Численное моделирование. Для оценки жесткости конструкции выполнен модальный расчет в конечно-элементном пакете SolidWorks Simulation по основной частоте колебания. Дискретизация расчетной модели проведена оболочечными типами конечных элементов с параболической аппроксимацией поля перемещения (рис. 4). Граничными условиями являются ограничение перемещений по трем поступательным степеням свободы в точках крепления рефлектора. Варьируемые параметры: толщина t , радиус r_1 окружности, на которой находятся точки крепления.

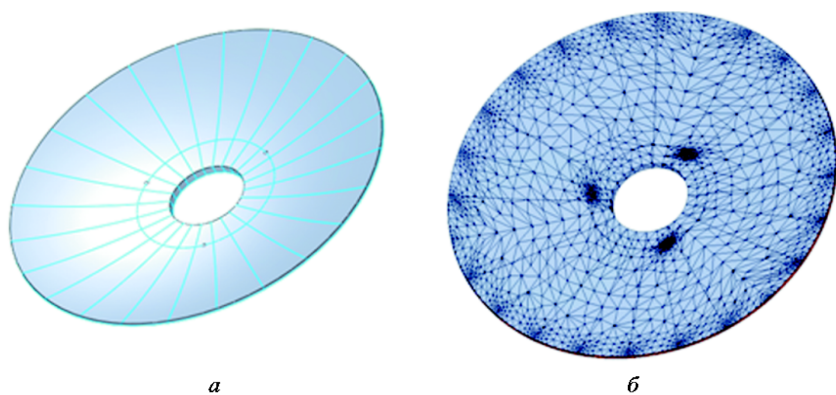


Рис. 4. Поверхностная (а) и конечно-элементная (б) модели антенны

При выполнении модального расчета получены значения первых частот собственных колебаний композитной жесткой антенны космического аппарата. По результатам проведенных вычислений построены зависимости изменения значения собственной частоты от диаметра кольцевого ребра, на котором находятся точки крепления, при разной толщине t рефлектора антенны (рис. 5).

Характер изменения частоты колебания в зависимости от толщины рефлектора и толщины ребер вполне ожидаем: максимальная жесткость конструкции достигается при расположении точек крепления антенны по диаметру 2500 мм.

Добавим к рассматриваемой модели конструкции кольцевое ребро радиусом R_1 (рис. 6), местоположение которого рассчитывают по зависимости

$$R_1 = (R - r_1) / 2.$$

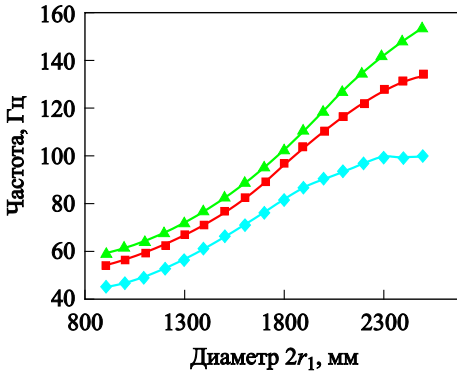


Рис. 5. Изменение значений собственной частоты в зависимости от диаметра кольцевого ребра при различной толщине t :
 ◆ — 1 мм; ■ — 2 мм; ▲ — 3 мм

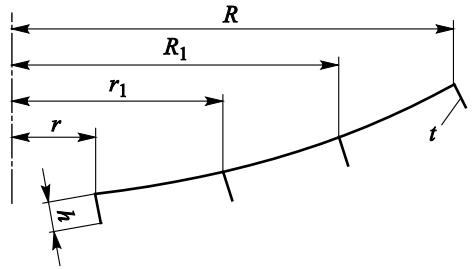


Рис. 6. Параметрическая схема с дополнительным кольцевым ребром

Таким образом, система подкрепления будет состоять из двух концентрических колец радиусами r_1 и R_1 . Точки крепления антенны связаны с радиусом r_1 . Различные сочетания варьируемых параметров конструктивной схемы показаны на рис. 7.

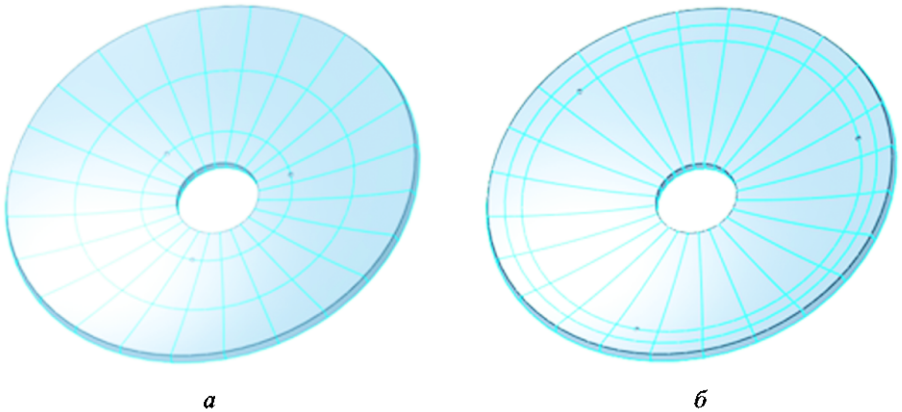


Рис. 7. Параметрическая геометрическая модель с двумя кольцевыми ребрами и с точками крепления антенны r_1 :
 а — 750 мм; б — 1200 мм

По результатам выполненного анализа построены зависимости изменения собственной частоты колебаний от диаметров кольцевых ребер, на одном из которых находятся точки крепления, при толщине t рефлектора антенны, равной 1, 2, 3 мм (рис. 8).

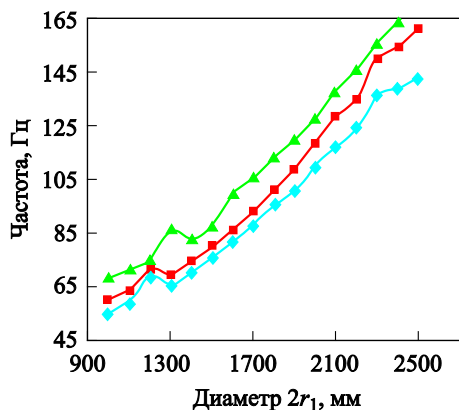


Рис. 8. Изменение собственной частоты колебания в зависимости от диаметров кольцевых ребер, положения точек крепления при различной толщине t :
 —♦— 1 мм; —■— 2 мм; —▲— 3 мм

Введение в конструкцию дополнительного кольцевого ребра повышает значение собственной частоты колебания, а максимальная жесткость конструкции достигается при размещении точек крепления антенны на диаметре 2500 мм.

Рассмотрим поведение конструкции при условии фиксированного положения кольцевого ребра $r_1 = 450$ мм (см. рис. 6). Определим положения кольцевого ребра R_1 с шагом 50 мм в диапазоне значений 500...1250 мм.

Результаты исследования изменения собственной частоты колебаний в зависимости от радиуса R_1 кольцевого ребра при толщине t , равной 1–3 мм, представлены на рис. 9.

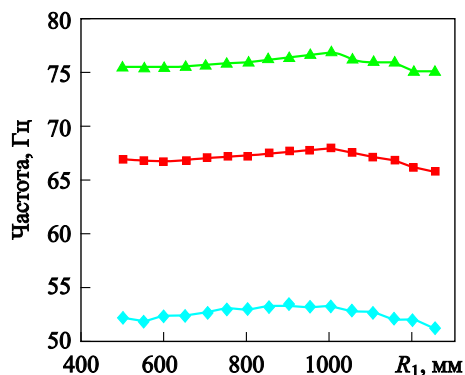


Рис. 9. Изменение собственной частоты колебания в зависимости от радиуса R_1 кольцевого ребра при разной толщине t :
 —♦— 1 мм; —■— 2 мм; —▲— 3 мм

Анализ результатов исследований показывает, что при данной конструктивной схеме силового набора из кольцевых ребер максимальное значение частоты колебаний достигается при $R_1 = 1000$ мм для всех рассматриваемых значений толщин t .

Заключение. Предложена методика создания параметрической геометрической и конечно-элементной моделей композитной жесткой антенны космического аппарата. Модель учитывает изменение толщины рефлектора и подкрепляющих ребер, количество и положение точек крепления, а также силовую схему подкрепления конструкции. Определены максимальные значения собственных частот колебаний конструкции при разных координатах точек крепления, конструктивных параметрах и вариантах схем подкрепления антенны, обеспечивающих максимальную жесткость. Полученные результаты могут быть использованы при разработке перспективных конструкций антенн космических аппаратов.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Soykasap O., Pellegrino S., Howard P., Notter M. Tape Spring Large Deployable Antenna. *The 47th AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics and Materials Conf.* 1–4 May 2006, Newport, Rhode Island, pp. 1–12. DOI:10.2514/6.2006-1601
- [2] Tan L.T., Soykasap O., Pellegrino S. Design & manufacture of stiffened spring-back reflector demonstrator. *The 46th AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Conf. of Structures, Structural Dynamics and Materials.* 18–21 April 2005, Austin, Texas, pp. 1–11.
- [3] Гряник М.В., Ломан В.И. *Развертываемые зеркальные антенны зонтичного типа*. Москва, Радио и связь, 1987, 72 с.
- [4] Баничук Н.В., Карпов И.И., Климов Д.М., Маркеев А.П., Соколов Б.Н., Шаранюк А.В. *Механика больших космических конструкций*. Москва, Факториал, 1997, 302 с.
- [5] Imbriale W.A., Gao S., Boccia L., eds. *Space antenna handbook*. John Wiley & Sons Ltd, 2012, 744 p.
- [6] Imbriale W.A., eds. *Spaceborne Antennas for Planetary Exploration*. John Wiley & Sons Ltd, 2008, 570 p.

Статья поступила в редакцию 28.02.2017

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Бабкина Л.А., Сорокин Д.В. Параметрический анализ параболической антенны космического аппарата с многовариантной схемой подкрепления. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2017, вып. 4.

<http://dx.doi.org/10.18698/2308-6033-2017-4-1611>

Статья подготовлена по материалам доклада, представленного на XLI Академических чтениях по космонавтике, посвященных памяти академика С.П. Королёва и других выдающихся отечественных ученых — пионеров освоения космического пространства, Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана, 24–27 января 2017 г.

Бабкина Людмила Алексеевна — канд. техн. наук, доцент кафедры компьютерного моделирования ФГБОУ ВО «Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М.Ф. Решетнева». Автор 79 научно-методических работ. Область научных интересов: электрофизические и электрохимические методы обработки, геометрическое и конечно-элементное моделирование.
e-mail: L_babkina@mail.ru

Сорокин Дмитрий Владимирович — канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой инженерной графики ФГБОУ ВО «Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М.Ф. Решетнева». Автор 67 научно-методических работ. Область научных интересов: геометрическое моделирование кривых и поверхностей, CAD/CAE/CAM и аддитивные технологии.
e-mail: sdv@sibsau.ru

Parametric analysis of the spacecraft parabolic antenna with a multivariate reinforcement scheme

© L.A. Babkina, D.V. Sorokin

Siberian State Aerospace University named after academician M.F. Reshetnev,
Krasnoyarsk, 660037, Russia

The problem of parametric geometric modeling is solved. The modal analysis of the spacecraft parabolic antenna with a multivariate reinforcement scheme consisting of the system of radial and annular ribs is made. The modal analysis used for determining the fundamental frequency of antenna oscillation as a criterion of structural rigidity was performed in this article by the finite element method in the SolidWorks Simulation package. Simulation of the antenna is carried out by shell finite elements with a parabolic approximation of the displacement field. The parametric model of the antenna takes into account the change in the reflector thickness, the number and thickness of the rib cross sections, as well as the coordinates of the points of attachment of the primary structure to the spacecraft. The results of calculations of the antenna oscillation fundamental frequency at different variants of a design parameter combination are presented. The design solutions providing the required values of structure rigidity are revealed.

Keywords: *geometric modeling, parametric modeling, modal analysis, finite element method*

REFERENCES

- [1] Soykasap O., Pellegrino S., Howard P., Notter M. Tape Spring Large Deployable Antenna. *Proceedings of the 47th AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Conference on Structures, Structural Dynamics and Materials*. 1–4 May 2006, Newport, Rhode Island, pp. 1–12. DOI:10.2514/6.2006-1601
- [2] Tan L.T., Soykasap O., Pellegrino S. Design & manufacture of stiffened spring-back reflector demonstrator. *Proceedings of the 46th AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Conference on Structures, Structural Dynamics and Materials*. 18–21 April 2005, Austin, Texas, pp. 1–11.
- [3] Gryanik M.V., Loman V.I. *Razvertvyvaemye zerkalnye anteny zontichnogo tipa* [Unfolding mirror antennas of umbrella type]. Moscow, Radio i svyaz Publ., 1987, 72 p.
- [4] Banichuk N.V., Karpov I.I., Klimov D.M., Markeev A.P., Sokolov B.N., Sharanuk A.V. *Mekhanika bolshikh kosmicheskikh konstruksiy* [Mechanics of large space structures]. Moscow, Faktorial Publ., 1997, 302 p.
- [5] Imbriale W.A., Gao S., Boccia L., eds. *Space antenna handbook*. John Wiley & Sons Ltd, 2012, 744 p.
- [6] Imbriale W.A., ed. *Spaceborne Antennas for Planetary Exploration*. John Wiley & Sons Ltd, 2008, 570 p.

Babkina L.A., Cand. Sc. (Eng.), Associate Professor, Department of Computer Simulation, Siberian State Aerospace University named after academician M.F. Reshetnev. Author of 79 research and educational publications. Research interests: electrophysical and electrochemical machining methods, geometric and finite element modeling. e-mail: L_babkina@mail.ru

Sorokin D.V., Cand. Sc. (Eng.), Associate Professor, Head of the Department of Engineering Drawing, Siberian State Aerospace University named after academician M.F. Reshetnev. Author of 67 research and educational publications. Research interests: geometric modeling of curves and surfaces, CAD/CAE/CAM and additive technologies.
e-mail: sdv@sibsau.ru