

УДК 629.78

Выбор параметров конструктивно-силовой схемы рефлектора зеркальной космической антенны на основе применения методов топологической оптимизации

Казаринов Михаил Юрьевич^(*)

kaz.mih.yr@gmail.com

SPIN-код: 8611-1239

Просунцов Павел Викторович

pavel.prosuntsov@mail.ru

SPIN-код: 8865-0800

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Аннотация. Представлена новая методика разработки конструктивно-силовой схемы рефлектора на основе применения методов топологической оптимизации. Основным отличием методики является совместное решение задач оптимизации и радиационно-кондуктивного теплообмена. Подход основан на итерационном решении задач топологической оптимизации и радиационно-кондуктивного теплообмена. Метод проверен при разработке ребрения рефлектора, предназначенного для работы на геостационарной орбите. Показано, что предложенный подход позволяет существенно снизить вес конструкции рефлектора при сохранении ее жесткости.

Ключевые слова: композиционный материал, топологическая оптимизация, космический аппарат, зеркальная антенна, проектирование

Введение. Для зеркальных антенн систем космической связи аппаратов, осуществляющих орбитальный полет, важным фактором становятся размеростабильность и весовая эффективность конструкции [1]. Задача создания оптимальной в весовом отношении конструкций рефлекторов зеркальных космических антенн является сложной и не до конца решенной [2].

Известные в настоящее время методики проектирования композитных подкрепленных антенн, как правило, основаны на методе перебора большого количества вариантов, что ограничивает их количество и не дает гарантии нахождения оптимального решения, а также требуют больших временных и вычислительных затрат.

Перспективным является использование для построения конструктивных схем рефлекторов космических антенн методов топологической оптимизации, которые позволяют определить оптимальный вид ребрения. Однако методы решения задач топологической оптимизации для условий интенсивного радиационно-кондуктивного теплообмена в конструкции рефлектора, характерного для орбитального полета, в настоящее время отсутствуют.

Методы и материалы; результаты. Предложен новый подход к созданию конструктивных схем рефлекторов космических антенн, который основан на попеременном итерационном решении задач топологической оптимизации и радиационно-кондуктивного теплообмена.

На первом этапе на основе теоретической поверхности рефлектора, узлов его крепления и рабочего объема создается область проектирования. Область

проектирования состоит из 3D-элементов типа Solid и ограничена рабочей поверхностью рефлектора эквидистантной ей поверхностью, отстоящей на расстояние максимальной высоты оребрения, а сама рабочая поверхность рефлектора представляется 2D-элементами типа Shell и считается неизменной. Для 3D-области задаются квазиизотропные свойства материала и определяется его температурное состояние в орбитальном полете. Для этого распределения температуры решается задача топологической оптимизации и находится первая итерации формы оребрения.

Далее на основе анализа возможности технологической реализации полученной конструктивно-силовой схемы принимается решение о задании рациональных направлений армирования материала. На следующей итерации, также с использованием модели, состоящие из Shell и Solid элементов, но с уже ортотропными характеристиками, последовательно решаются задачи радиационно-кондуктивного теплообмена для новой формы оребрения и задача топологической оптимизации.

При завершении итерационного процесса строится конструктивно-силовая схема рефлектора уже на основе 2D-элементов типа Shell, которые проходят по срединным поверхностям ребер, полученных в результате топологической оптимизации. Для полученной оптимизированной модели рефлектора проводится поверочный расчет.

Для подтверждения эффективности предложенной методики была разработана форма оребрения для рефлектора, разработанного в МГТУ им. Н.Э. Баумана в 2015–2020 гг. [3]. Показано, что погонный вес рефлектора можно снизить в 1,5 раза при сохранении его жесткости.

Заключение. Выполненные исследования продемонстрировали, что предложенный новый подход позволяет существенно снизить вес и повысить размеростабильность рефлекторов зеркальных космических антенн.

Список источников

- [1] Резник С.В. Актуальные проблемы проектирования, производства и испытания ракетно-космических композитных конструкций. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2013, № 3 (15). <https://doi.org/10.18698/2308-6033-2013-3-638>
- [2] Тайгин В.Б., Лопатин А.В. Обзор конструкций зеркальных антенн космических аппаратов с твердотельными прецизионными размеростабильными рефлекторами. *Космические аппараты и технологии*, 2021, № 1, с. 14–26. <https://doi.org/10.26732/j.st.2021.1.02>
- [3] Новиков А.Д. *Разработка методики определения параметров конструктивно-силовых схем прецизионных и легких рефлекторов зеркальных космических антенн межспутниковой связи*. Дис. ... канд. техн. наук. Москва, 2020, 152 с.