

## МЕТОДИКА СОЗДАНИЯ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОЙ МОДЕЛИ И РАСЧЕТА КРУПНОГАБАРИТНОГО ТРАНСФОРМИРУЕМОГО СЕТЧАТОГО РЕФЛЕКТОРА КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

Н.Н. Голдобин, А.С. Евдокимов

Научный руководитель: к.т.н. Д.О. Шендалев

АО «Информационные спутниковые системы» им. ак. М.Ф.Решетнева

Россия, г. Железногорск Красноярского края, ул. Ленина, 52, 662972

E-mail: [goldobin@iss-reshetnev.ru](mailto:goldobin@iss-reshetnev.ru)

Важное направление работ в области космической техники связано с созданием систем глобальной связи. Возникла потребность в создании больших космических антенн диаметром 10-50 метров. Концепция построения сетчатых рефлекторов крупногабаритных космических антенн, наиболее развитая на сегодняшний день, предполагает наличие силового каркаса, который предназначен для обеспечения жесткости рефлектора, с помощью которого растягивается формообразующая структура (ФОС), включающая симметричные тыльную и фронтальную сети из размеростабильных шнуров и отражающее металлическое сетеполотно. Эта сборка нагружается оттяжками, соединяющими узлы этих сетей. Равномерность распределения усилий натяжения в системе шнуров, формирующих отражающую поверхность, а также точность формы поверхности оказывают влияние на функциональные характеристики рефлектора. Реализация указанных требований с учетом факторов наземной и орбитальной эксплуатации является сложной и дорогостоящей процедурой, что приводит к необходимости использования математических методов моделирования.

Проектировочные расчеты и прогнозирование поведения рефлектора в условиях эксплуатации проводятся с использованием конечно-элементной модели. При моделировании подобных конструкций известными проблемами являются обеспечение требуемого напряженно-деформированного состояния (НДС), а также обеспечение сходимости решения. Моделирование внутренних напряжений конструкции реализуется путем задания начальных напряжений, до введения которых модель имеет нулевые коэффициенты жесткости по отдельным степеням свободы. В силу указанного обстоятельства при появлении в конструкции внутренних напряжений получаются большие деформации, что и приводит к проблемам со сходимостью и существенному перераспределению усилий. Одним из путей решения указанных проблем является задание начальных напряжений, соответствующих начальной геометрии модели.

Для оценки на стадии проектирования усилий, возникающих в напряженной конструкции сетчатого рефлектора, а также обеспечения требуемого распределения усилий во всех шнурах ФОС авторами данной научно-технической работы была разработана методика расчета рефлектора. В данной методике в качестве модели ФОС рассматривается пространственная система сходящихся сил, через известное условие равновесия которой определяются усилия в шнурах. Точность разработанной методики обеспечивается подробным математическим описанием пространственного расположения натянутых шнуров с использованием положений аналитической геометрии и теоретической механики. Применение новой методики позволило: получить начальные напряжения, необходимые при расчете НДС рефлектора; обеспечить сходимость численного метода Ньютона-Рафсона при решении задачи методом конечных элементов; повысить точность определения усилий в напряженной конструкции ФОС [1-3].

На основании использования методики расчета НДС был проведен анализ НДС рефлектора в гравитационном поле Земли и в невесомости, в рамках которого были получены следующие результаты: разработанная КЭМ рефлектора позволяет производить выбор схемы обезвешивания ФОС с целью проведения механического анализа рефлектора для случая в гравитационном поле Земли; модель НДС настроенного в гравитационном поле Земли рефлектора, помещенного в условия невесомости, позволяет спрогнозировать поведение рефлектора при переходе от этапа наземной к этапу орбитальной эксплуатации.

На основе методики расчета начальных напряжений в конструкции рефлектора была разработана "бесшаблонная" методика сборки рефлектора, обеспечивающая необходимую точность формы его рабочей поверхности. Ранее в АО «ИСС» применялся способ сборки с использованием технологического приспособления в виде объемного шаблона параболической формы. В рамках этой технологии начальное НДС ФОС и сетеполотна создавалось на объемном шаблоне. Далее, усилия с шаблона постепенно перекладывались на силовой каркас, и получалось начальное НДС всего рефлектора, подстраиваемое впоследствии при точной настройке. Недостатком такой технологии является то, что данный способ изготовления предполагает изготовление отдельных шнуров и начальный монтаж ФОС на объемном шаблоне без учета упругих свойств шнуров, что приводит к необходимости применения сложной процедуры задания усилий натяжения в каждом из шнуров на последующих этапах сборки. Сложность задания усилий натяжения заключается в том, что такие структуры являются статически неопределимыми и изменение усилия натяжения в одном или нескольких шнурах приводит к изменению усилий в нескольких или во всех других шнурах. Еще одним недостатком является использование объемного шаблона, так как с увеличением диаметра рефлектора масса шаблона будет возрастать пропорционально кубу его диаметра. Ввиду сложности реализации объемного шаблона для сборки рефлекторов большего диаметра авторами предлагается «бесшаблонная» технология сборки, подробно описанная в заявке на изобретение №2016136059 «Способ изготовления крупногабаритного трансформируемого рефлектора».

Таким образом, в ходе выполнения научно-технической работы, были получены следующие основные результаты:

- новая КЭМ, позволяющая выполнять структурно-параметрический синтез рефлектора, была апробирована при создании рефлектора в АО «ИСС» в рамках выполнения специальной части опытно-конструкторской разработки (СЧ ОКР «Прибор») по Федеральной космической программе России на 2006-2015 годы; достоверность модели была подтверждена во время проведения наземных испытаний рефлектора;
- прогнозирование НДС рефлектора для случаев его нахождения в гравитационном поле Земли и в невесомости позволяет определить влияние на геометрическую точность отражающей поверхности факторов, возникающих на этапах проектирования, производства и эксплуатации;
- создан новый способ изготовления крупногабаритных трансформируемых сетчатых рефлекторов с применением "бесшаблонной" методики сборки рефлектора, учитывающий НДС ФОС и силового каркаса рефлектора, позволяющий снизить трудоемкость сборки и настройки рабочих усилий формообразующей структуры, выполненной из шнуров, начиная с начальных этапов изготовления, а также обеспечить точность формы отражающей поверхности рефлектора без использования громоздкого и дорогостоящего технологического приспособления.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Голдобин, Н.Н., Тестоедов Н.А. Алгоритм построения периферийного шнура формообразующей структуры сетчатого рефлектора // Вестник СибГАУ им. акад. М.Ф. Решетнева. – Красноярск: СибГАУ. - 2014. – С. 101-107.
2. Голдобин, Н.Н. Особенности проектирования формообразующей структуры крупногабаритного трансформируемого рефлектора космического аппарата // Молодежь. Техника. Космос»: труды VI-й Общероссийской молод. науч.-техн. конф. – СПб.: БГТУ «ВОЕНМЕХ». - 2014. – С. 21-23.
3. Голдобин, Н.Н., Шендалев Д.О. Аналитическая оценка начальных напряжений для повышения качества конечно-элементной модели космического сетчатого рефлектора // Материалы Международной научной конференции «Решетневские чтения». - Красноярск: ОАО «ИСС». - 2014. – С.71-73.