

УДК 629.78

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛООВОГО РЕЖИМА ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ МАЛОГО КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

© **Кандалинцева Е.В., Кауров И.В.**

*Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация*

e-mail: ivkaur@yandex.ru, kandalintseva.el@mail.ru

Дифракционные оптические системы нашли успешное применение в российских МКА CubeSX-HSE и CubeSX-Sirius-HS, запущенных 22 марта 2021 года [1], тем самым подтвердив актуальность и эффективность решения задачи проектирования компактных и легких оптических систем, позволяющих осуществлять съемку в необходимом разрешении.

Комплекс экспериментальной дифракционной оптики (КЭДО) МКА предназначен для отработки перспективной технологии изготовления сверхлегкой дифракционно-оптической системы. Оптическая аппаратура построена по схеме Кассегрена с дифракционной линзой и плоскопараллельной пластиной. Данная схема позволяет в два раза сократить длину объектива при заданном фокусном расстоянии, но при этом теряется 25 % светового потока. КЭДО предназначен для работы на высотах от 450 до 730 км при температурах от -20 до $+60$ (опционно от -40 до $+60$) [2].

Моделирование КЭДО было выполнено в среде Siemens NX. Для сравнительного анализа в качестве материала корпуса использовались углепластик, титан и алюминий. Для моделирования дифракционной линзы применялось кварцевое стекло, для плоскопараллельной линзы – Zerodur, марка стекла, специально разработанная для условий космоса. Блоку электроники (светочувствительные матрицы) даны усредненные значения.

Таблица 1 – Характеристики используемых материалов

Материал	Тепло-проводность, Вт/(м · К)	Удельная теплоемкость, Дж/(кг · К)	Коэффициент теплового расширения, K^{-1}	Плотность, кг/м ³	Степень черноты	Коэффициент поглощения солнечной радиации
Угле-пластик	0,75	1,15	$0,5 \cdot 10^{-6}$	1525	0,82	0,91
Титан	22,3	530,8	$8,9 \cdot 10^{-6}$	4510	0,19	0,55
Алюминий	236	904	$24 \cdot 10^{-6}$	2700	0,25	0,50
Кварцевое стекло	0,96	889	$1 \cdot 10^{-6}$	2202	–	–
Zerodur	1,46	800	$0,02 \cdot 10^{-6}$	2530	–	–

При построении модели приняты следующие допущения:

- 1) Все материалы оптической системы принимаются однородными и изотропными;
- 2) Не учитывается тепловой поток от блока электроники;

3) Оптическая система размещается на околокруговой орбите высотой от 600 до 620 км;

4) В каждый момент времени космический аппарат ориентируется в надир.

В Siemens NX присутствует модуль Simcenter 3D Space Systems Thermal, который позволяет определить распределение температур на изделии сложной формы, находящемся в космическом пространстве на орбите, с помощью метода конечных элементов. В данном модуле были заданы необходимые ограничения и нагрузки, а затем выполнен расчет температурного режима оптико-электронной аппаратуры.

Для анализа работы корпусов использовались графики температур, построенные для нескольких ключевых точек комплекса оптики: обеих линз и корпуса. По полученным данным можно сделать вывод, что лучше всего заданную температуру позволяет поддерживать корпус из алюминия, что связано с его высокой теплоемкостью – он медленнее нагревается и медленнее охлаждается, из-за чего не происходит перегревания аппаратуры на солнечных участках орбиты и переохлаждения – на теневых. Использование титана ведет к возрастанию температуры и частому перегреву. Углепластик позволяет поддерживать тепловой режим практически в заданных границах для линз, но сильно перегревается и переохлаждается сам корпус, что может впоследствии привести к его разрушению.

В качестве нагревательного элемента использовался гибкий пленочный электронагреватель (ПЭН), разработанный сотрудниками Самарского университета и АО «РКЦ «Прогресс» [3]. ПЭН имеет габариты 200 x 30 мм и мощность 3,5 Вт.

ПЭН моделируется в виде 2D-элемента. Он подвергается тепловой нагрузке 3,5 Вт, включение которой регулируется контроллером: ПЭН включается при температуре -30°C , выключается при 0°C . Для моделирования с ПЭНом используется углепластиковый корпус.

По полученным графикам температур видно, что пленочный электронагреватель в целом позволяет поддерживать необходимую температуру, но на углепластиковом корпусе недостаточно эффективен из-за низкой теплопроводности материала.

Библиографический список

1. Toward Ultralightweight Remote Sensing With Harmonic Lenses and Convolutional Neural Networks / A.V. Nikonorov, M.V. Petrov, S.A. Bibikov, P.Y. Yakimov, V.V. Kutikova, Y.V. Yuzifovich, A.A. Morozov, R.V. Skidanov, N.L. Kazanskiy // IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing. 2018. P. 1–11.

2. Разработка технических предложений по созданию малого космического аппарата дистанционного зондирования Земли «АИСТ-3»: отчет о НИР (заключ.) / И.С. Ткаченко [и др.]. Самара, 2018. 240 с.

3. Патент на изобретение № 2554097. Тонкопленочный гибкий электронагреватель / Кирилин А. Н., Барвинок В.А., Богданович В. И., Асмолов А.Н., Небога В.Г., Молчанов В.С., Буяльский В.И., Китаев А. И., Журавлев А.М., Лукашук И. П. Правообладатель: Самарский университет, АО «РКЦ «Прогресс». Дата публикации: 27.06.2015.