

УДК 629.78

Абрашкин В.И., Комаров В.А.

ТЕПЛОВОЙ РАСЧЕТ ТРЕХСЛОЙНЫХ ПАНЕЛЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Передовые тенденции в области проектирования космических аппаратов (КА) диктуют новые технологические решения, такие как модульность конструкции, технологичность сборки, негерметичность отсеков, использование современных материалов.

Современные требования к информации, получаемой с помощью КА, накладывают все большие ограничения на конструкцию. В результате чего необходимо искать новые технологические решения. Для КА дистанционного зондирования Земли постоянно возрастают требования к разрешению (проекция пиксела в надире). Но для проведения съемки аппаратура высокого разрешения требует особо точного и жесткого взаимного размещения.

В результате, при постоянном росте требований к КА и быстром развитии используемых материалов необходимо применять и новые методы расчета конструкции.

Важнейшим критерием качества съемки земной поверхности является точность попадания линии визирования в назначенную область съемки. На это непосредственно влияет точность установки оптических приборов и астродатчиков и жесткость платформы. При тепловых нагрузках, в результате температурных деформаций, ось визирования телескопа может отклониться на некий угол относительно оси визирования астродатчика, что приведет к съемке ошибочной области поверхности Земли.

Целью данного исследования являлась разработка метода расчета температурного поля трехслойной сотовой панели на примере термостабилизированной платформы, на которой размещаются приборы, требующие особо точного и жесткого расположения (а именно, астродатчиков и оптоэлектронного комплекса высокого расширения), а также минимизация температурных перепадов методом варьирования конфигурации тепловых труб.

Платформа представляет собой панель в виде склеенной трехслойной сотовой конструкции, которая состоит из алюминиевых обшивок и сотового заполнителя. В качестве заполнителя используются сотопанели из алюминиевой фольги толщиной 30 мкм со стороной шестигранников 2,5 мм. Обшивки панелей изготовлены из сплава Д16АТ толщиной 0,5 мм. Толщина 150 мм. По контуру панелей установлены окантовки

из сплава АМгб. Внутрь панелей вклеены тепловые трубы, электроподогреватели и резьбовые втулки для крепления оборудования.

Общий вид платформы представлен на рисунке 1.

Расчет конструкции проводится методом конечных элементов в конечно-элементной системе MSC/NASTRAN for WINDOWS 2004.

Конечно-элементная модель создана с использованием среды Geomар.

Помимо самой платформы в модель включены боковые панели и каркас, т.к. они существенно влияют на жесткость конструкции.

Для создания конечно-элементной модели использовался ряд стандартных элементов.

Алюминиевые обшивки, и крошечные моделируются универсальными оболочечными элементами Plate. Сотовый наполнитель моделируется объемными элементами Solid. Уголки каркаса и тепловые трубы моделируются балочными элементами Beam.

Элементы аппаратуры, размещенной на платформе, заменяются сосредоточенными массами, размещенными в центрах масс соответствующих приборов, и крепятся к конструкции абсолютно жесткими элементами.

Для проведения расчета в местах контакта приборов, выделяющих тепло, к конечно-элементной модели приложены тепловые нагрузки в виде тепловыделения. Тепловыделение на поверхности заменяется тепловыделением в узлах, принадлежащих этой поверхности. Величина тепловыделения в каждом узле находится как частное от деления величины тепловыделения от прибора на количество узлов, принадлежащих поверхности контакта прибора с панелью.

Области приложения тепловых нагрузок изображены на рисунке 2.

Расчет проводится при условии, что СОТР обеспечивает требуемый диапазон температур. В качестве граничных условий задана температура внутренней поверхности платформы. Исходя из значений температуры внутри корпуса КА, обеспечиваемых СОТР, средняя температура внутренней поверхности 20°C.

Важнейшей задачей расчета является имитация в конечно-элементной модели

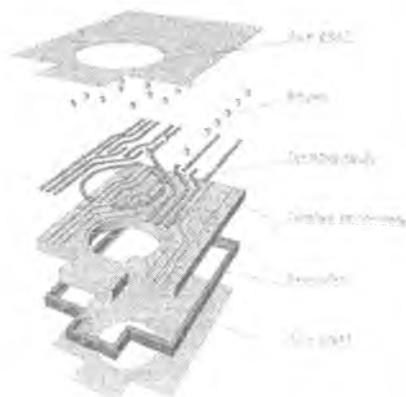


Рис. 1. Схема членения конструкции

сотового заполнителя и тепловых труб.

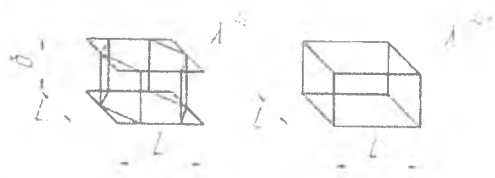
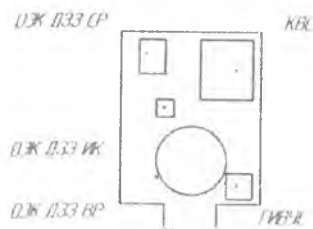


Рис. 2. Области тепловыделения приборов

Рис. 3. Нахождение теплопроводности эквивалентного сотовому заполнителю материала

Сотовый заполнитель смоделирован в виде монолитного эквивалентного материала, поэтому теплопроводность сотового заполнителя нельзя задать как теплопроводность алюминия.

Теплопроводность сотового заполнителя найдем из равенства тепловых потоков через соты и через эквивалентный сотам материал (рис. 3, 4).

Тепловой поток равен:

$$Q = \frac{\lambda}{\delta} (t_1 - t_2) F,$$

где λ – теплопроводность материала,

δ – толщина материала,

F – площадь поверхности,

$(t_1 - t_2)$ – температурный перепад.

Запишем тепловые потоки для сотового заполнителя и для эквивалентного материала:

$$Q^{ст} = \frac{\lambda^{ст}}{\delta} (t_1 - t_2) F^{ст},$$

$$Q^{экв} = \frac{\lambda^{экв}}{\delta} (t_1 - t_2) F^{экв},$$

где $F^{ст}$ – площадь сечения алюминиевой соты,

$F^{экв}$ – сечение основания со сторонами l_1 и l_2 .

Примем приближенно $F^{ст} = 6ab$.

Для отыскания $F^{экв}$ найдем l_1 и l_2 :

$$l_1 = 2a,$$

$$l_2 = \sqrt{3}a,$$

$$F^{экв} = 2\sqrt{3}a^2.$$

Известно, что $Q^{AI} = Q^{экв}$.

Тогда $\lambda^{AI} F^{AI} = \lambda^{экв} F^{экв}$, откуда $\lambda^{экв} = \lambda^{AI} \frac{6ab}{2\sqrt{3}a^2} = \lambda^{AI} \sqrt{3} \frac{b}{a}$.

Теплопроводность эквивалентного материала:

$$\lambda^{экв} = 209,3\sqrt{3} \frac{0,03}{2,5} = 4,35 \frac{Вт}{м \cdot К}.$$

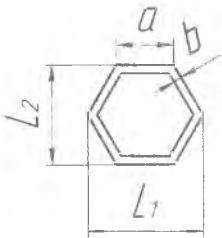


Рис. 4. Площадь сечения соты

Тепловые трубы конечно-элементной модели имитируются балочными элементами с теплопроводностью, равной теплопроводности тепловых труб. В силу того, что последняя величина может менять свое значение в зависимости от конкретных условий работы, зададимся средним значением теплопроводности исходя из следующих данных:

$$Q \cdot L \sim 250 \text{ Вт} \cdot \text{м},$$

$$\Delta t \sim 5^\circ\text{C}.$$

$$F \sim 5 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2,$$

$$\lambda^{тр} \sim \frac{Q \cdot L}{\Delta t \cdot F} = \frac{250}{5 \cdot 5 \cdot 10^{-4}} = 10^5 \frac{Вт}{м \cdot К}.$$

По построенной конечно-элементной модели проводим анализ.

Для проведения анализа сравним следующие варианты расчета:

1. Конструкция без тепловых труб.
2. Первый вариант расположения тепловых труб (рис. 5).
3. Второй вариант расположения тепловых труб (рис. 6).



Рис. 5. Первый вариант расположения тепловых труб



Рис. 6. Второй вариант расположения тепловых труб

По проведенным расчетам получены распределения температурных полей, представленные на рисунках 7, 8, 9.



Рис. 7. Температурное поле в первом варианте расчета



Рис. 8. Температурное поле во втором варианте расчета



Рис. 9. Температурное поле в третьем варианте расчета

В последнем варианте величина наивысшей температуры значительно ниже, чем в предыдущих вариантах расчета. Поле температур максимально равномерно по сравнению с предыдущими вариантами. Этот вариант (рис. 6) наиболее предпочтителен, т.к. для минимальности деформаций требуется наиболее равномерное распределение тепла по поверхности платформы.

Посредством данной методики конструктор может сделать вывод о соответствии теплового режима конструкции заданным условиям. На практике получить идеальную конструкцию невозможно, можно лишь получить наиболее оптимальную конструкцию. Варьируя местами расположения тепловыделяющих приборов и геометрией труб, можно синтезировать наиболее оптимальную конструкцию.