

УДК 620.22-678-419.8

С.И. Москалев, Ю.В. Петров, В.В. Захаров, Ю.В. Цегельник, О.О. Кокорудз

СРАВНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЕТА ПОЛЯ ТЕМПЕРАТУР КОНСТРУКЦИИ ИЗ ПОЛИМЕРНОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА С ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМИ ДАННЫМИ

Рассмотрена математическая модель конструкции из полимерного композиционного материала, позволяющая проводить расчеты поля температур ее узлов и элементов при проведении испытаний на терморазмеростабильность. Приведен сравнительный анализ экспериментальных и расчетных данных.

Розглянуто математичну модель конструкції з полімерного композиційного матеріалу, яка дозволяє проводити розрахунки поля температур її вузлів та елементів під час проведення випробувань на терморозміростабільність. Наведено порівняльний аналіз експериментальних і розрахункових даних.

This paper describes the mathematical model of the polymer composite structure, used in the calculations of the temperature fields of its units and elements in the process of thermal stability tests. This paper includes the comparative analysis of the experimental and calculation data.

К современным космическим аппаратам, предназначенным для исследования поверхности Земли с помощью высокоточных сканеров, предъявляются жесткие требования, в частности к геометрической стабильности их конструкции в условиях орбитального полета.

Основным дестабилизирующим фактором в процессе эксплуатации космического аппарата на орбите является воздействие циклического изменения температур. В связи с этим возникает закономерный интерес к конструкционным материалам, обладающим низкой температурной деформируемостью. Такими материалами являются полимерные композиты на основе углеродных волокон (углепластики), обладающие, к тому же, высокими упруго-прочностными характеристиками и минимальным коэффициентом линейного температурного расширения (более чем в 30 раз меньшим, чем у сплава алюминиевого АМг6). Именно благодаря этим свойствам углепластики могут быть использованы в размеростабильных конструкциях космических аппаратов.

В составе современных космических аппаратов, разрабатываемых ГП "КБ "Южное", широко применяются конструкции из полимерных композиционных материалов. Использование композитов в качестве конструкционных материалов позволяет сни-

зить массу конструкции, а также повысить ее терморазмеростабильность.

Объектом исследования данной статьи является объемная сотовая панельная конструкция. Все панели данной конструкции состоят из рам, выполненных из углепластиковых прямоугольных труб, соединенных между собой на клею титановыми фитингами. Внутри рам вклеен сотовый заполнитель из алюминиевой фольги. К раме и сотовому заполнителю с двух сторон приклеены обшивки из углепластика.

К размеростабильности исследуемой конструкции предъявляются повышенные требования. В связи с этим возникла необходимость в проведении испытаний данной конструкции на терморазмеростабильность. При испытаниях решалась задача определения перемещений и поворотов базовых точек и плоскостей конструкции в процессе изменения ее температуры на величину порядка $\sim 4^\circ\text{C}$ в пределах комнатной температуры.

Для проведения испытаний конструкция устанавливалась на массивную стальную технологическую плиту.

Для обеспечения равномерного нагрева конструкции над ней монтировался защитный кожух из пенопласта толщиной 50 мм. Поверхность плиты под испытываемым объектом также термоизолировалась при помощи пенопласта. На наружные стенки

конструкции для ее нагрева устанавливались пленочные электронагреватели мощностью 600 Вт/м^2 , а внутри – тепловентиляторы мощностью 1 кВт . В процессе проведения испытаний температура контролировалась при помощи цифровых температурных датчиков, устанавливаемых на внешней и внутренней поверхностях объекта контроля. Управление работой электронагревателей осуществлялось при помощи термореле.

Нагрев конструкции происходил следующим образом:

- включались нагреватели, и под контролем термодатчиков с реле производился нагрев конструкции до температуры на $\sim 4^\circ\text{C}$ выше температуры помещения;
- при достижении заданной температуры нагреватели и вентиляторы отключались, происходило естественное охлаждение конструкции.

После естественного остывания конструкции до температуры, близкой к температуре помещения, при помощи камер наблюдения фиксировались показатели датчиков перемещения.

Для расчета поля температур элементов конструкции из полимерного композиционного материала при проведении испытаний на терморазмеростабильность была разработана математическая модель на основе общепринятой методики деления элементов конструкции на расчетные узлы [1], для которых считается допустимым осреднение температур по их поверхности и объему (изотермические зоны).

Данная математическая модель разработана применительно к пакету программ TRASSA-2 [2], предназначенному для расчета тепловых режимов космических аппаратов в условиях орбитального полета, а также для наземных испытаний. Пакет содержит программы OASIS (решение задач внешнего и внутреннего лучистого теплообмена) и ANTRES (расчет температурных полей в элементах конструкции космического аппарата).

При расчете теплового режима все лучистые связи между расчетными узлами конструкции, а также излучение с этих поверхностей в окружающее пространство, опре-

делялись программой OASIS при счете в пакетном режиме с программой ANTRES автоматически с помощью геометрической математической модели, приведенной на рис. 1.

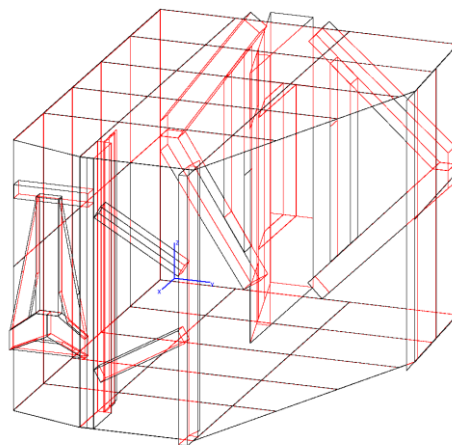


Рис. 1. Геометрическая математическая модель конструкции для условий испытаний на терморазмеростабильность

Кондуктивные связи между расчетными узлами [3] определялись с использованием данных по контактирующим поверхностям и теплофизическим характеристикам материалов.

Температура воздуха в помещении на протяжении всего расчета считалась постоянной и равной 18°C .

Результаты расчета поля температур элементов объекта исследования при проведении испытаний на терморазмеростабильность приведены на рис. 2.

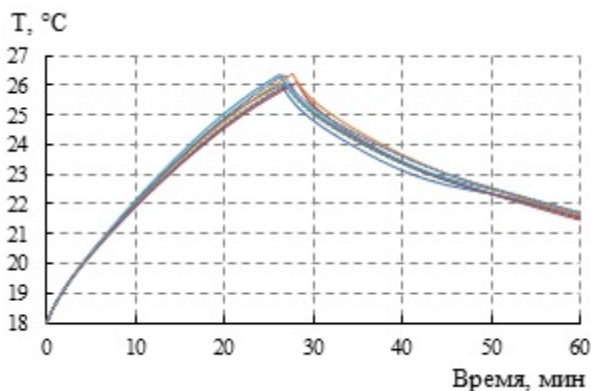
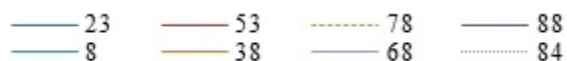


Рис. 2. Поле температур элементов объекта исследования при проведении испытаний на терморазмеростабильность:



23, 53, 78, 88 – узлы внутренних поверхностей боковых панелей конструкции;

8, 38, 68, 84 – узлы наружных поверхностей боковых панелей конструкции

Из рис. 2 видно, что нагрев наружных и внутренних поверхностей панелей конструкции в расчетном случае происходит практически одновременно – приблизительно за 27 мин. Согласно данным протокола испытаний исследуемой конструкции на терморазмеростабильность равномерный нагрев конструкции с 18 до 26°C произошел за 30 мин.

Полученное совпадение эмпирических данных температур узлов и элементов конструкции с их расчетными значениями свидетельствует о том, что математическая модель объекта контроля достаточно точно

описывает процессы, происходящие при его испытаниях на терморазмеростабильность. Таким образом, разработанная методика расчета может быть успешно применена для решения подобных задач.

Список использованной литературы

1. Оре О. Теория графов. – М.: Наука, 1968. – 352 с.
2. Залетаев В.М. Расчет теплообмена космического аппарата/В.М. Залетаев, Ю.В. Капинос, О.В. Сургучев. – М.: Машиностроение, 1979. – 208 с.
3. Михеев М.А. Основы теплопередачи/М.А. Михеев, И.М. Михеева. – М.: Энергия, 1973. – 320 с.

Статья поступила 17.07.2015