

## Секция 16

**Наземная отработка реактивных двигательных установок и тепловакуумные испытания космических летательных аппаратов****ПРОБЛЕМНЫЕ ВОПРОСЫ ИСПЫТАНИЙ И ОТРАБОТКИ ТЕПЛОВЫХ ТРУБ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ФАКТОРОВ КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА**

*Гуля В.М., Копяткевич Р.М., Мишин Г.С.,  
Центральный научно-исследовательский институт  
машиностроения*

*Десятов А.В., Лукоянов Ю.М.  
Исследовательский Центр им. М.В.Келдыша  
Елчин А.П., Прохоров Ю.М.  
ОАО РКК «Энергия»*

Тепловые трубы (ТТ) нашли широкое применение в системах обеспечения теплового режима пилотируемых и автоматических космических аппаратах. Они используются в радиаторах – излучателях КА, в сотопанелях КА негерметичного исполнения и для термостабилизации радиоэлектронной аппаратуры и конструктивных элементов изделий.

Рассмотрены вопросы влияния силы тяжести при наземных испытаниях, образования газовой пробки за счет радиолиза рабочего тела ТТ, деградации оптических характеристик терморегулирующих покрытий, используемых для зоны конденсации ТТ. Выполнено имитационное моделирование тепловых режимов ТТ для условий натуральных испытаний, которое должно уточнить по результатам этих испытаний закономерности теплопереноса, конденсации и испарения рабочего тела ТТ в КА.

При наземных испытаниях влияние силы тяжести анализируется для наклонных ТТ и при смешанной свободной-вынужденной конвекции радиаторов – холодильников ТТ, размещаемых в гермоотсеках. Исследована кинетика разложения аммиака ТТ на азот и водород под действием космической радиации. Представлены факторы космического

пространства (ФКП), влияющие на деградацию оптических свойств наружных радиаторов – излучателей ТТ. Приведены некоторые способы и данные натурных измерений изменения оптических свойств при длительном полете КА. Предлагается прогнозирующее уравнение изменения оптических свойств терморегулирующих покрытий (ТРП) при длительном воздействии ФКП.

Излагается программа натурных испытаний ТТ. Выполнено имитационное моделирование тепловых режимов и теплопередающей способности ТТ, размещаемых вне гермоотсека, для их натурных испытаний на РС МКС.

#### **МЕТОД КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ ХАРАКТЕРИСТИК СТАРЕНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ НАЗЕМНЫХ ИСПЫТАНИЙ**

*Товстоног В.А.*

*МГТУ им. Н.Э. Баумана*

**E-mail: [tovstonv@mail.ru](mailto:tovstonv@mail.ru)**

Создание космических конструкций с длительным сроком функционирования предопределяет важность проблемы оценки изменения физических свойств материалов под действием факторов космического пространства. Наиболее объективными для таких оценок являются прямые экспериментальные исследования при длительном экспонировании образцов материалов на борту космических аппаратов (КА) в условиях космического пространства. Однако сложности, связанные с проведением таких исследований, не являются главным ограничением. Важно то, что они не позволяют получать оперативных данных применительно к вновь создаваемым или предполагаемым к использованию в разрабатываемых космических конструкциях материалам. Другими словами, время разработки нового материала может быть существенно меньше времени, требуемого для исследований изменений свойств материала под действием факторов окружающей среды — старения, не обязательно выражаемого ухудшением свойств. В связи с этим актуальным являются методы ускоренных наземных испытаний.

Старение материалов является кинетическим процессом и в общем случае описывается некоторой брутто-реакцией или набором реакций относительно исследуемого свойства (кинетическая схема). Поэтому разработку методов ускоренных испытаний связывают с параметром, интенсифицирующим протекание процессов. Чаще всего в роли таких параметров выступают температура и/или давление. Однако на основе

этих параметров могут быть реализованы лишь некоторые типы испытаний, связанные с поверхностными процессами массопереноса в условиях вакуума. Для большинства же процессов их ускорение простым увеличением интенсивности воздействующих факторов без изменения характера процесса невозможно. В этом случае характеристики материала, связанные со старением при длительном воздействии факторов окружающей среды, могут быть получены на основе методов моделирования, цель которых — получение прогностических моделей. Их основная характеристика — адекватное описание процессов на доступном интервале времен наблюдения и возможность получения объективного прогноза на требуемый, гораздо более длительный период времени. Прогностические модели могут быть синтезированы только на основе глубоких исследований физических процессов, протекающих в рассматриваемой системе с учетом изменений ее микроструктуры под воздействием факторов окружающей среды.

В работе рассматривается метод оценки характеристик старения комплекса физических свойств полимерных материалов под действием одного из факторов космического пространства — солнечного излучения. В основу метода положено моделирование кинетических процессов изменения химической структуры полимера, которая определяет весь комплекс свойств материала, под действием излучения Солнца и моделирующей установки на основе газоразрядных источников излучения. Дано обоснование выбора наблюдаемого параметра, характеризующего изменения химической структуры, и дан анализ применимости источников излучения различных типов, позволяющих технически реализовать предлагаемый метод.

Приведены результаты использования предложенного метода к оценке характеристик старения ряда полимерных материалов, таких как поликарбонат и полистирол под действием ультрафиолетового излучения.

**О ВЛИЯНИИ ГАЗОВ, РАСТВОРЕННЫХ В ТОПЛИВЕ,  
НА ПРОЦЕСС ОБРАЗОВАНИЯ НЕСПЛОШНОСТИ В  
СТАТИЧЕСКИХ И ДИНАМИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ**

*М.П. Сало, В.Н. Ошанин*  
*ГКБ "Южное" им М.К. Янгеля*  
*e-mail: info@yuzhnoye.com*

Одним из важных вопросов при работе и отработке двигательной установки (ДУ) является определение количества газовых включений в компонентах топлива, поступающих на входы в двигатель. Потенциаль-

ным источником таких включений, в зависимости от предъявляемых требований по газонасыщению к компонентам жидкого ракетного топлива (КЖРТ), являются смеси и одиночные газы, растворенные в КЖРТ. Подтверждение нормальных условий работы ДУ, в части отсутствия газовых включений, связано с определением характеристик массообменных процессов растворения-выделения газов насыщения в топливных баках и расходных магистралях. Одним из методов такого подтверждения, в настоящее время, как для статических, так и динамических условий, является расчетное определение равновесной относительной объемной концентрации одного газа, выделившегося из КЖРТ. Данная оценка дает предельное значение иногда идущее в разрез с требуемыми параметрами. Альтернативным методом явилось создание новой более строгой математической модели, учитывающей неравновесность происходящих процессов, которая позволяет дать объективную оценку газовыделений в статических и динамических условиях.

Решением данной задачи стало создание логически увязанных математических зависимостей для условий течения КЖРТ (динамика) и компонента, находящегося в покое (статика), позволивших по сравнению с обычно используемой зависимостью:

- дать уточненную оценку образующейся газожидкостной смеси;
- определить задержку до образования несплошности;
- выявить различия в образовании парогазовых включений для статических и динамических условий.

Аналитически были определены временные задержки появления газожидкостной системы в зависимости от растворенных газов и спада давления. Дана оценка образующейся несплошности КЖРТ в зависимости от условий работы ДУ.

#### **РАСЧЕТ ВНЕШНИХ ЛУЧИСТЫХ ТЕПЛОВЫХ ПОТОКОВ НА КА, НАХОДЯЩИЙСЯ НА ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ**

*В.В.Альтов, В.М.Гуля*

*Центральный научно-исследовательский  
институт машиностроения*

*А.Н.Старостин*

*ОАО РКК «Энергия»*

Для оценки теплового режима космических аппаратов, находящихся на стартовом комплексе или совершивших посадку необходимо уметь определять величину солнечного и земного излучения, падающе-

го на произвольно ориентированную площадку изделия на поверхности Земли.

С этой целью была разработана соответствующая методика расчета и ее программная реализация **EFlux**, в которой она используется для расчета солнечного и инфракрасного потоков на поверхность аппарата, находящегося на поверхности Земли. Программа **EFlux** представляет собой дополнительный инструмент пакета тепловых расчетов КА ТЕРМ, который позволяет рассчитывать внешние падающие тепловые потоки на изделие, находящееся в орбитальном полете.

По программе **EFlux** выполняется расчет плотности падающих потоков:

- прямого солнечного;
- рассеянного атмосферой солнечного потока;
- отраженного от поверхности Земли солнечного потока;
- инфракрасного излучения поверхности Земли;
- инфракрасного излучения неба.

Исходными данными программы являются:

- файл с геометрической моделью изделия;
- список поверхностей геометрической модели, для которых выполняется расчет;
- широта места старта или посадки;
- расчетные сутки от начала года;
- местное время начала расчета в расчетных сутках;
- время окончания расчета;
- шаг расчета по времени;
- углы разворота связанной с аппаратом системы координат (ССК) в расчетной системе координат (РСК);
- параметры расчета: солнечная постоянная на орбите Земли, планетарное альbedo Земли, альbedo подстилающей поверхности Земли, степень черноты поверхности Земли, таблицы изменения во времени температуры поверхности Земли и неба.

Файл с геометрической моделью является файлом исходных данных для программы Flux или программы ViewF, пакета ТЕРМ. Список поверхностей должен включать список тех поверхностей, расчет потоков для которых должен быть выполнен. Для поверхностей, не входящих в список, и солнечные и инфракрасные потоки задаются равными нулю. Это позволяет не вычислять потоки для тех поверхностей, для которых они не должны вычисляться, например, для внутренних по-

верхностей модели, которые во внешнем лучистом теплообмене не участвуют.

Потоки записываются в базу данных, которая может быть использована программой расчета температур ТЕМР. Приведены примеры расчета для различно ориентированных площадок и простых геометрических моделей КА, выполнено сравнение результатов расчетов с имеющимися литературными данными.

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛООВОГО И  
ТЕРМОДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЙ КОНСТРУКЦИИ  
АНТЕННЫ КОСМИЧЕСКОГО РАДИОТЕЛЕСКОПА**

*М.Ю. Архипов, И.С. Виноградов  
Астрокосмический центр ФИАН,*

*С.Б. Новиков*

*Центральный научно-исследовательский  
институт машиностроения*

Сообщение посвящено вопросам численного моделирования температурного и термоделированного состояний конструкции антенны космического радиотелескопа проекта «Радиоастрон». Рассмотрены подходы, постановки задач, физические и математические модели, расчетные схемы. Приводятся и обсуждаются результаты расчетов.

**РАСЧЕТНАЯ ОЦЕНКА ПОГРЕШНОСТИ ТВИ КРТ  
«РАДИОАСТРОН» В ВК 600/300 НИИХИММАШ**

*И.С. Виноградов*

*Астрокосмический центр ФИАН,*

*С.Б. Новиков*

*Центральный научно-исследовательский  
институт машиностроения*

Для тепловой отработки создаваемого АКЦ ФИАН совместно с НПО им.С.А.Лавочкина космического радиотелескопа (КРТ) проекта «Радиоастрон» предусмотрено проведение тепловакуумных испытаний (ТВИ) конструкции и систем обеспечения теплового режима (СОТР) изделия в камере ВК 600/300 НИИХИММАШ с имитацией солнечного потока со стороны оси +Z (ось Z КА перпендикулярна оси симметрии параболического рефлектора КРТ). При испытаниях объект размещается в камере без панелей солнечных батарей, радиатора приборного отсека, с одним лепестком рефлектора в сложенном положении со стороны оси +Z. В камере имитируются тепловые воздействия, реализующи-

еся в процессе штатной эксплуатации КРТ. Задачей ТВИ является экспериментальное подтверждение температурных условий эксплуатации аппаратуры и определение температурных полей по элементам конструкции объекта испытаний.

В обеспечение ТВИ разработаны тепловые математические модели (ТММ) КА для условий его орбитального полета и объекта испытаний для условий ТВИ в ВК 600/300, включающей непараллельность лучистого потока имитатора солнечного излучения (ИСИ). С помощью разработанных ТММ проведены расчеты теплового режима изделия для условий орбитального полета и ТВИ, сделана оценка погрешностей ТВИ, обусловленных излучением от криоэкранов камеры, неоднородностью и непараллельностью лучистого потока ИСИ.

Проведенные расчеты показали:

- распределения мощности электрообогрева по силовой конструкции оболочки лепестка для условий орбитального полета и ТВИ, могут существенно отличаться друг от друга, особенно для силовой конструкции в узкой части лепестка;

- вследствие излучения от криоэкранов камеры и особенно непараллельности потока ИСИ тепловые режимы элементов конструкции и СОТР при ТВИ существенно отличаются от тепловых режимов в условиях орбитального полета.

Например, из-за существенно увеличившейся суммарной внешней тепловой нагрузки (поглощенные потоки солнечного и собственного излучений) на рабочую поверхность радиаторов фокального узла, Н-Мазера и др. систем температура низкотемпературных приборных устройств при ТВИ может увеличиваться на 46К по сравнению с условиями штатной эксплуатации.

#### **О ТВОРЧЕСКОМ ВКЛАДЕ С. М. БЕДНОВА В ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛОВЫХ РЕЖИМОВ КА**

*Копяткевич Р.М.*

*Центральный научно-исследовательский*

*Институт машиностроения*

*Прохоров Ю.М.*

*ОАО РКК «Энергия»*

С.М. Беднов (1945 – 2006 гг.) принадлежит к молодому поколению ученых – исследователей теплофизики космических систем. Его теоретические и экспериментальные исследования лучистого и лучисто-кондуктивного теплообмена позволили разработать новые подходы и

---

схемы обеспечения тепловых режимов КА. Первые работы по лучистому теплообмену между плоскими пластинами, в бесконечном плоском зазоре и многослойных экранах вошли в отраслевое Руководство для конструкторов и позволили выявить парниковый эффект многослойной экранно – вакуумной тепловой изоляции (ЭВТИ), дать расчетные величины термического сопротивления ЭВТИ. Он одним из первых внедрил в отрасли термовизионные измерения при тепловакуумных испытаниях РЭА и блоков КА. Ряд космических разработок СССР и стран соц. ориентации прошли тепловые испытания в Центре Келдыша на созданной им экспериментальной базе. Здесь решались задачи двойного и конверсионного назначения. При его непосредственном участии создан мощный аммиачный стенд для отработки двухфазных систем терморегулирования, проведены летные экспериментальные исследования прототипа двухфазной СТР. Предметом последних исследований С.М. Беднова явились тепловые режимы малых КА и тепловых труб контурного типа.

В сообщении представлены материалы из научной и личной жизни С.М. Беднова.

---