

УДК 536.24

Анализ возможности многоразового применения комбинированной тепловой защиты для аппарата класса «несущий корпус»

Кремнев Дмитрий Викторович^(*)

dmitrykremnev98@gmail.com

SPIN-код: 1571-6695

Леонов Виктор Витальевич

lv-05@mail.ru

SPIN-код: 6939-5898

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Аннотация. Проанализирована возможность многоразового использования комбинированной тепловой защиты, состоящей из двухслойного анизотропного теплозащитного покрытия, дополненного тепловыми трубами. Проведены расчеты распределения нестационарного поля температур по рассматриваемой системе теплозащиты для аппарата класса «несущий корпус», спускающегося в атмосфере Земли после завершения лунной экспедиции.

Ключевые слова: спускаемый аппарат, несущий корпус, анизотропный теплозащитный материал, тепловые трубы, тепловой режим, многоразовый космический аппарат

Введение. При возвращении после лунной экспедиции аппарат входит в плотные слои атмосферы на скорости, близкой к местной параболической. В течение спуска мгновенная равновесная температура в критической точке лобового притупления аппарата класса «несущий корпус» может достигать 2700 К, при учете прогрева материалов пиковое значение снижается приблизительно на 200–300 К, что превышает допустимую температуру для многоразового использования большинства современных теплозащитных покрытий. В работе проведен анализ эффективности применения комбинированной тепловой защиты, состоящей из пассивного теплозащитного покрытия, совмещенного с системой тепловых труб. Испарительные концы тепловых труб расположены в толщине наиболее термонагруженной части тепловой защиты, а охлаждаемые концы труб выведены на подветренную поверхность спускаемого аппарата в области с относительно низкой температурой окружающего потока.

Методы и материалы; результаты. В результате проведенных исследований, была разработана форма внешних обводов спускаемого аппарата класса «несущий корпус». Вычислены его аэродинамические характеристики на гиперзвуковых скоростях и рассчитана плоская рикошетирующая траектория спуска в атмосфере Земли [1]. Проведен анализ двухслойной анизотропной тепловой защиты, в которой внешний слой — анизотропный пиролитический графит марки УПВ-1Т, а в качестве внутреннего теплоизоляционного слоя рассмотрена возможность использования пористого керамического материала на основе кварцевых волокон марки ТЗМК-10 или углеграфитового

войлока на основе вязкого волокна марки «Карбопон-22». На внешней поверхности нанесено антиокислительное покрытие. Для расчета распределения внешних радиационных и конвективных тепловых потоков по лобовому сферическому притуплению использованы эмпирические соотношения [2]. В работе учтена анизотропия свойств выбранных материалов и зависимость их физических характеристик от температуры [3]. Рассмотрены тепловые трубы, выполненные из хромоникелевой нержавеющей стали, и проведен анализ применимости в качестве теплоносителя различных щелочных металлов. Данные материалы имеют ограничения по температуре эксплуатации, а тепловая труба имеет ограниченную мощность теплопередачи [4]. В работе исследуется возможная глубина залегания испарительного конца трубы, эффективность использования с точки зрения массовых характеристик системы тепловой защиты и особенности функционирования тепловой трубы в условиях интенсивных перегрузок.

Заключение. Рассмотрены особенности совместного использования высокотемпературных тепловых труб и радиационно-теплоизоляционных теплозащитных покрытий на этапе спуска аппарата в атмосфере. Получены приближенные формулы для расчета теплопереноса тепловыми трубами. Получены распределения поля температур по теплозащите в процессе спуска. Сделаны выводы о возможности многократного применения комбинированной тепловой защиты для спускаемого аппарата класса «несущий корпус».

Список источников

- [1] Иванов Н.М. *Баллистика и навигация космических аппаратов*. Москва, Дрофа, 2004, 542 с.
- [2] Леонов В.В., Зарубин В.С., Айрапетян М.А. Анализ эффективности применения анизотропных теплозащитных материалов при реализации траекторий с многократным входом в атмосферу. *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*, 2021, № 2, с. 56–68. <https://doi.org/10.18698/0536-1044-2021-2-56-68>
- [3] Нагорный В.Г., Котосонов А.С., Островский В.С. и др. *Свойства конструкционных материалов на основе углерода*. Москва, Металлургия, 1975, 336 с.
- [4] Васильев Л.Л. *Теплообменники на тепловых трубах*. Минск, Наука и техника, 1981, 143 с.