

УДК 536.24

Моделирование термомеханических процессов в анизотропном теплозащитном покрытии спускаемого аппарата класса «несущий корпус»

Кремнев Дмитрий Викторович^{1(*)}

dmitrykremnev98@gmail.com

Леонов Виктор Витальевич

lv-05@mail.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Аннотация. Проведен анализ термомеханических процессов, происходящих в анизотропном двухслойном теплозащитном покрытии спускаемого аппарата класса «несущий корпус», возвращаемого после лунной экспедиции. Получено распределение температурных полей по поверхности и толщине тепловой защиты сферического притупления на протяжении всего спуска аппарата. Рассчитано напряженно-деформированное состояние тепловой защиты сферического притупления для наиболее критических моментов спуска. Сделаны выводы о возможности применения выбранных теплозащитных материалов для рассматриваемого аппарата и условий спуска.

Ключевые слова: термомеханические процессы, спускаемый аппарат, несущий корпус, анизотропный теплозащитный материал, тепловые режимы, многократный космический аппарат

Введение. Моделирование термомеханических процессов в теплозащитном покрытии спускаемого аппарата представляет большой практический интерес, поскольку дает возможность оценки на ранних этапах проектирования его работоспособности. В данной работе рассматривается возвращение спускаемого аппарата после завершения лунной экспедиции. В работе проанализированы условия, при которых возможно многократное использование рассматриваемого теплозащитного покрытия, что повышает экономическую эффективность аппарата.

Материалы и методы; результаты. В результате проведенных исследований, была разработана форма внешних обводов спускаемого аппарата класса «несущий корпус», аппарат имеет сферическое носовое притупление. Получены его аэродинамические характеристики на гиперзвуковых скоростях и рассчитана плоская рикошетирующая траектория спуска в атмосфере Земли [1].

Проведен анализ двухслойной анизотропной тепловой защиты. Внешний слой — анизотропный пиролитический графит марки УПВ-1Т, в качестве внутреннего теплоизоляционного слоя рассматривается возможность использования пористого керамического материала на основе кварцевых волокон марки ТЗМК-10 или углеграфитового войлока на основе вискозного волокна марки «Карбопон-22». На внешней поверхности нанесено антиокислительное покрытие.

В работе анализ термомеханических процессов проведен только для сферического притупления, что является допустимым на первых этапах проекти-

рования аппарата, поскольку носовое притупление — одна из самых термонагруженных частей аппарата. Таким образом, по результатам такого расчета можно дать оценку о допустимости применения выбранного пакета теплозащиты для спуска рассматриваемого аппарата по заданной траектории. Для расчета распределения внешних радиационных и конвективных тепловых потоков по сферическому притуплению использованы эмпирические соотношения [2–4]. В работе учтена анизотропия свойств выбранных материалов и зависимость их физических характеристик от температуры [4, 5].

Разработан программный комплекс, с помощью которого рассчитано поле температур на протяжении всего спуска в атмосфере и напряженно-деформированное состояние сферического притупления аппарата.

Заключение. Проведен анализ термомеханических процессов в теплозащитном покрытии носового притупления спускаемого аппарата класса «несущий корпус». Для рассмотренного элемента конструкции получено распределение полей температур и рассчитано напряженно-деформированное состояние с учетом изменения термомеханических характеристик материалов при нагреве.

Список источников

- [1] Иванов Н.М. *Баллистика и навигация космических аппаратов*. Москва, Дрофа, 2004, 542 с.
- [2] Авдеевский В.С., Галицейский Б.М., Глебов Г.А. и др. *Основы теплопередачи в авиационной и ракетно-космической технике*. Москва, Машиностроение, 1975, 623 с.
- [3] Cebeci T., Smith A.M.O. *Analysis of Turbulent Boundary Layers*. NY, Acad. Press, 1974.
- [4] Леонов В.В., Зарубин В.С. мл., 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>
- [5] Нагорный В.Г., Котосонов А.С., Островский В.С. и др. *Свойства конструкционных материалов на основе углерода*. Москва, Металлургия, 1975, 336 с.