

Из рисунка 1 видно, что наиболее информативными по величине изменения параметра являются запас газодинамической устойчивости компрессора ЗГДУ  $\Delta K_y$  и степень повышения давления  $\pi_k$ . Проведенные натурные исследования в работах [5, 6] показали, что с учетом возможности измерения на вертолете Ми-8 (Ми-24) необходимо использовать  $\pi_k$ , так как:

1) данный параметр, напрямую определяет изменения характеристики компрессора в результате эрозионного износа его лопаток;

2) независим от изменения характеристик других узлов двигателя, в отличие от  $\Delta K_y$ ;

3) легкодоступен в регистрации и обработке;

4) зарубежные фирмы (Pratt & Whitney, Rolls-Royce и т. д.) также проводят исследования по выбору наилучшего способа управления, позволяющего поддержать требуемые характеристики узлов ВГТД в результате эксплуатационных воздействий, в том числе эрозионного износа. Результаты данных исследований нашли применение при разработке двигателей PW4000, Trent1000, в которых для управления режимом работы двигателя используется параметр «степень повышения давления компрессора» [7]. Таким образом, при разработке методики контроля эрозионного износа лопаток в качестве основного информативного параметра принимается степень повышения давления компрессора.

Полученные результаты применимы для разработки методики контроля степени эрозионного износа лопаток компрессора ВГТД по его газодинамическим параметрам, а также позволяют выявлять дефекты на ранней стадии их возникновения, что обеспечивает своевременное проведение работ по обслуживанию, ремонту компрессора или его замене.

#### Список литературы

1 **Потапов, В. А.** Анализ влияния запыленности атмосферы на износ лопаток осевого компрессора вертолетного газотурбинного двигателя в процессе эксплуатации / В. А. Потапов, А. А. Санько, Р. И. Хованский // *Неразрушающий контроль и диагностика*. – 2020. – № 4. – С. 32–38.

2 **Богданов, А. Д.** Турбовальный двигатель ТВ3-117ВМ: конструкция и техническое обслуживание : учеб. пособие / А. Д. Богданов, Н. П. Калинин, А. И. Кривко. – М. : Воздуш. транспорт, 2000. – 392 с.

3 **Стельмах, М. В.** Совершенствование методов технической диагностики газоперекачивающих агрегатов с авиационным газотурбинным приводом АЛ-31СТ(Н) / М. В. Стельмах, И. А. Кривошеев, И. М. Горюнов // *Современные проблемы науки и образования*. – 2015. – № 1 (Ч. 1). – 11 с.

4 **Потапов, В. А.** Зависимость термогазодинамических параметров работы компрессора вертолетного газотурбинного двигателя от его наработки и запыленности атмосферы / В. А. Потапов, А. А. Санько, М. В. Кудин // *Известия Национальной академии наук Беларуси. Сер. Физико-математических наук*. – 2021. – Т. 57, № 3. – С. 307–319.

5 **Потапов, В. А.** Контроль технического состояния компрессора газотурбинного двигателя ТВ3-117 по изменению запаса его газодинамической устойчивости / В. А. Потапов, А. А. Санько, А. А. Шейников // *Вестник УГАТУ*. – 2019. – Т. 23, № 3 (85). – С. 88–95.

6 **Потапов, В. А.** Диагностика технического состояния компрессора ГТД в процессе его эксплуатации по комплексному термогазодинамическому параметру / В. А. Потапов, А. А. Санько, Р. И. Хованский // *Авиационный вестник*. – 2020. – № 3. – С. 19–25.

7 **Гуревич, О. С.** Исследования способов управления, инвариантных к ухудшению характеристик узлов двигателя в процессе эксплуатации / О. С. Гуревич, С. А. Сметанин, М. Е. Трифионов // *International Conference on Aviation Motors – ICAM 2020*. – Moscow, May 18–21, 2021. – P. 88–92.

УДК 536.21

## ЭКРАННО-ВАКУУМНАЯ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИЯ ДЛЯ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

*П. Ф. ПРОНИНА, А. В. БАБАЙЦЕВ, А. П. ВЯТЛЕВ*

*Московский авиационный институт (НИИ), Российская Федерация*

С развитием ракетно-космической индустрии всё больше возрастают требования к защите космических аппаратов (КА) от избыточного тепла и различного рода излучений. За стабилизацию теплового режима КА отвечает система обеспечения теплового режима (СОТР), которую в свою очередь можно разделить на активную и пассивную [1]. Задачей пассивной системы терморегулирования является сохранение необходимого температурного диапазона благодаря применению материалов с необходимыми оптическими и термическими параметрами. К таким материалам относится экранно-вакуумная теплоизоляция (ЭВТИ). Применение ЭВТИ обеспечивает возможность существенно снизить интенсивность теплообмена элементов конструкции и оборудования КА с

окружающей средой, то есть уменьшить тепловой поток, поступающий к элементам конструкции и оборудованию КА от Солнца, и наоборот, от КА с теневой стороны в открытый космос.

ЭВТИ обладает уникальными теплоизоляционными характеристиками. Ее термическое сопротивление, отнесенное к весу единицы площади поверхности, является наибольшим из всех известных типов теплоизоляции. ЭВТИ технологична, может наноситься на элементы КА различной формы. Обычно для поддержания необходимого теплового режима КА вся его поверхность покрывается ЭВТИ, за исключением определенных участков поверхности, через которые осуществляется регулируемый теплообмен с окружающей средой, а также тех внешних элементов КА, которые должны функционировать в открытом космосе [2].

ЭВТИ имеет многослойную структуру из тепловых экранов  $n = 10 \dots 100$ , изготовленных из пленочных металлизированных с одной или двух сторон методом напыления полимерных материалов с высоким коэффициентом отражения, разделенных прокладками из стекловолокнистых [3] материалов с низкой теплопроводностью. Наружную и внутреннюю поверхности ЭВТИ обшивают комбинированными материалами «НИИКАМ-КПМА» или «НИИКАМ-РАМ-2». В зависимости от места установки, рабочего температурного режима и целевых задач ЭВТИ определяется количество слоев и марка ЭВТИ. На данный момент марки ЭВТИ классифицируются следующим образом:

–  $\leq 150 \text{ }^\circ\text{C}$  – в качестве экранов ЭВТИ применяют полиэтилентерефталатную (ПЭТ) пленку, металлизированную алюминием методом напыления;

–  $\leq 300 \text{ }^\circ\text{C}$  – в качестве экранов ЭВТИ применяют полиимидную (ПИ) пленку, металлизированную алюминием методом напыления;

–  $\leq 500 \text{ }^\circ\text{C}$  – в качестве экранов ЭВТИ применяют фольгу из алюминия;

–  $500 \text{ }^\circ\text{C}$  – в качестве экранов ЭВТИ применяют фольгу из никеля [4].

В зависимости от требований к ЭВТИ напыление (металлизация) алюминия на тепловые экраны производится на одну сторону или на две. Данная технология применяется для придания пленки термооптических характеристик, которые определяются коэффициентом поглощения солнечного излучения покрытия  $A_s$  и коэффициентом излучения  $\epsilon$ .

*Работа выполнена с финансовой поддержкой гранта Президента Российской Федерации МК-398.2022.4.*

#### Список литературы

1 **Страповалова, В. Н.** Разработка терморегулирующего покрытия, содержащего наночастицы оксидов металлов : автореф. дис. ... канд. хим. наук : 05.16.08 / В. Н. Страповалова ; РХТУ им. Д. И. Менделеева. – М., 2017. – 16 с.

2 Пат. 2344972 Российская Федерация, МПК В 32 В 5/08. Экранно-вакуумная теплоизоляция космического аппарата / Е. Д. Пожидаев [и др.] ; заявитель и обладатель Моск. гос. ин-т электроники и математики (техн. ун-т). – № 2007109345/11 ; заявл. 15.03.2007 ; опубл. 10.10.2008. – 2 с. : ил.

3 ОСТ 92-1380–83. Изоляция тепловая экранно-вакуумная. Марки и технические требования. – Введ. 1984-03-02. – М. : М-во общего машиностроения СССР, 1985. – 37 с. – (Отраслевой стандарт).

4 **Матвеев, Н. К.** Экранно-вакуумная теплоизоляция и определение ее характеристик : учеб. пособие / Н. К. Матвеев. – СПб., 2012. – 12 с.

УДК 539.3

## МЕТОД СПЕКТРАЛЬНОГО РАЗЛОЖЕНИЯ В ЗАДАЧАХ О ПЕРЕХОДНЫХ ВОЛНОВЫХ ПРОЦЕССАХ В ВЯЗКОУПРУГИХ ТЕЛАХ

*С. Г. ПШЕНИЧНОВ*

*НИИ механики МГУ им. М. В. Ломоносова, г. Москва, Российская Федерация*

Вязкоупругие материалы широко используются в современном производстве. Одним из важных направлений в области изучения волновых процессов в таких материалах являются аналитические и численно-аналитические исследования. Изложение основных методов, используемых в таких исследованиях, можно найти, например, в публикациях [1]–[7]. Целью данной работы является обсуждение вопроса о связи между решением нестационарной динамической задачи линейной вязкоупругости в случае конечной области распространения возмущений и решением спектральной задачи о свободных колебаниях вязкоупругого тела. При определенных условиях, налагаемых на ис-