

В работе рассмотрен изгиб сэндвич-пластины, связанной с упругим основанием, при термосиловом воздействии.

Сэндвич-пластина состоит из трех слоев. Для внешних несущих слоев справедливы гипотезы Кирхгофа. В промежуточном толстом слое (заполнителе) используется гипотеза Тимошенко. Несущие слои воспринимают основную нагрузку, наполнитель удерживает их на определенном расстоянии и обеспечивает совместную работу всего пакета. Постановка задачи и ее решение проводятся в цилиндрической системе координат. За искомые величины приняты: прогиб пластины, относительный сдвиг в наполнителе, радиальное перемещение координатной плоскости. Связь реакции основания и прогиба принимается согласно модели Пастернака.

Деформирование сэндвич-пластины может происходить как под действием силовой осесимметричной нагрузки, так и стационарного температурного поля. Распределение температуры по толщине трехслойного пакета считается известным [5], изменение упругих характеристик материалов несущих слоев принимается в соответствии с формулой Белла [6]. Получена система дифференциальных уравнений равновесия и её решение, а также проведен численный параметрический анализ зависимости напряженно-деформированного состояния трехслойного пакета от температурного и силового воздействий, параметров сжатия и сдвига основания.

Работа выполнена при финансовой поддержке БРФФИ (проект № T22M-072).

Список литературы

- 1 Болотин, В. В. Механика многослойных конструкций / В. В. Болотин, Ю. Н. Новичков. – М. : Машиностроение, 1980. – 375 с.
- 2 Старовойтов, Э. И. Деформирование трехслойного стержня в температурном поле / Э. И. Старовойтов, Д. В. Леоненко // Механика машин, механизмов и материалов. – 2013. – № 1 (22). – С. 31–35.
- 3 Старовойтов, Э. И. Деформирование локальными нагрузками композитной пластины на упругом основании / Э. И. Старовойтов, Д. В. Леоненко, М. Сулейман // Механика композитных материалов. – 2007. – Т. 43, № 1. – С. 109–120.
- 4 Козел, А. Г. Сравнение решений задач изгиба трехслойных пластин на основаниях Винклера и Пастернака / А. Г. Козел // Механика машин, механизмов и материалов. – 2021. – № 1 (54). – С. 30–37.
- 5 Козел, А. Г. Термоупругий изгиб круговой трехслойной пластины, связанной с основанием Пастернака / А. Г. Козел // Проблемы физики, математики и техники. – 2022. – № 2 (51). – С. 31–37.
- 6 Белл, Дж. Ф. Экспериментальные основы механики деформируемых тел : в 2 ч. / Дж. Ф. Белл. – М. : Наука, 1984. – 1027 с.

УДК 536.24

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТЕПЛООБМЕНА ПРИ ОХЛАЖДЕНИИ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ РАКЕТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

*С. А. КОЛЕСНИК, А. С. НОВИКОВ, Н. А. ТУШАВИН
Московский авиационный институт (НИУ), Российская Федерация*

Для увеличения мощности перспективных двигателей необходимо увеличивать температуру и давление рабочего тела, что входит в противоречие с жесткими требованиями по прочности элементов конструкций, таких как камеры сгорания, лопатки турбин и др. Для охлаждения таких элементов конструкций применяются различные системы охлаждения воздухом, отбираемым от компрессора: конвективное охлаждение внутренних поверхностей, не соприкасающихся с высокотемпературным газовым потоком; пористое охлаждение; охлаждение вдувом через организованные перфорации и т. п. При проектировании различных систем охлаждения остро встает вопрос эффективности охлаждения при компромиссном удовлетворении различных характеристик систем охлаждения: максимального теплосъема охладителем при минимальном его расходе и минимальных гидравлических потерях давления, а также минимальных потерях импульса газодинамического потока при вдуве в него охладителя и, следовательно, минимальных потерях прочности.

В последнее время появилось направление разработки систем охлаждения на основе составных проницаемых оболочек (СПО), представляющих собой многослойную конструкцию с большим количеством каналов для прохождения охладителя (воздуха) и каналов для вдува охладителя в высо-

котемпературный газодинамический поток [1–3]. По эффективности охлаждения СПО находятся между пористым охлаждением и перфорационным.

В работе предложена физико-математическая модель по определению параметров сопряжённого теплообмена между вязкими газодинамическими течениями и охлаждаемыми элементами конструкций ракетных двигателей, изготовленных с помощью технологии составных проницаемых оболочек. Математическая модель включает в себя уравнения динамического и теплового пограничных слоев, трехмерное уравнение нестационарной теплопроводности в охлаждаемых элементах, сложное гидравлическое течение. Предложен новый абсолютно устойчивый и экономичный метод численного решения пространственных нестационарных задач теплопереноса в многосвязных областях, который показывает эффективность охлаждения при использовании технологии составных проницаемых оболочек со вдувом по сравнению с традиционным способом охлаждения конвекцией.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ (проект № 22-19-00419).

Список литературы

- 1 Helms, H. E. Stoichiometric gas turbines development problems / H. E. Helms // The Intern. Symposium on Air Breathing Engines. – Marseille, France. – June, 1972. – P. 19–23.
- 2 Design and Preliminary Results of a Semi Transpiration Cooled (Lomilloy) Liner for a High – Pressure, High-Temperature Combustor / J. D. [et al.] // Wear AIAA., 1978. – No. 997.
- 3 **Формалев, В. Ф.** Методика, алгоритм и программный комплекс по определению теплового состояния охлаждаемых микро ракетных двигателей / В. Ф. Формалев, С. А. Колесник // Труды МАИ. – 2014. – № 78. – <http://www.mai.ru/science/trudy/published.php?ID=53710>.

УДК 536.24

МЕТОД МОДЕЛИРОВАНИЯ ДВУМЕРНОЙ РЕТРОСПЕКТИВНОЙ ЗАДАЧИ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ

*С. А. КОЛЕСНИК, Е. М. СТИФЕЕВ, Н. А. ТУШАВИН
Московский авиационный институт (НИУ), Российская Федерация*

В прямых задачах механики сплошных сред, в том числе в задачах теплопроводности, математическая модель связывает причину (начальные и граничные условия, коэффициенты, уравнения) с результатом (тепловые потоки, температурные поля и т. д.) [1–4].

В обратных задачах, наоборот, по результату определяют причины, которые обычно не могут быть описаны математическими моделями, что делает их часто некорректными. В таких задачах причинные характеристики определяются на основе экспериментальных данных, которые используют прямые математические модели и методы решения обратных задач.

Если на основе этих экспериментальных данных, таких как пространственно-временное распределение температур, восстанавливаются начальные условия, то такая обратная задача называется ретроспективной. Если по этим экспериментальным данным – пространственно-временному распределению температур – восстанавливаются начальные условия, то обратная задача называется ретроспективной.

В данной работе описан эффективный способ ускорения численного решения обратной ретроспективной задачи теплопроводности в прямоугольнике с помощью использования графических процессоров:

$$\begin{cases} u_t = a^2 u_{xx} + b^2 u_{yy} + f(x, y, t), & x \in [0, l_x], y \in [0, l_y], t > 0, \\ u(x, y, 0) = \varphi(x, y), & t = 0, \\ u_x(0, y, t) + h_1 u(0, y, t) = f_1(y, t), & x = 0, \\ u_x(l_x, y, t) + h_2 u(l_x, y, t) = f_2(y, t), & x = l_x, \\ u_y(x, 0, t) + h_3 u(x, 0, t) = f_3(x, t), & y = 0, \\ u_y(x, l_y, t) + h_4 u(x, l_y, t) = f_4(x, t), & y = l_y. \end{cases} \quad (1)$$