

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:

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

В задаче (1) требуется определить неизвестное начальное условие по известным температурным наблюдениям: $u(x_i, y_j, t_k) = u_{ijk}, i = \overline{1, I}, j = \overline{1, J}, k = \overline{1, K}$.

Решение построено с использованием следующих методов: метод параметрической идентификации с использованием двумерных линейно-непрерывными базисных функций, триангуляция области, метод переменных направлений, минимизация функционала невязки, регуляризация Тихонова, невязный градиентный спуск, параллельный блочный алгоритм прогонки, решётчатый поиск параметра регуляризации.

Разработаны алгоритм и программный комплекс, проведены вычислительные эксперименты по восстановлению начального условия описанной выше задачи. Показано, что использование графических процессоров позволяет быстрее выполнять вычисления «узких» по производительности мест в сравнении обычными многопроцессорными системами даже с учётом времени, затраченного на копирование данных между устройствами.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 22-19-00420).

Список литературы

- 1 **Формалёв, В. Ф.** Математическое моделирование сопряжённого теплопереноса между вязкими газодинамическими течениями и анизотропными телами / В. Ф. Формалёв, С. А. Колесник. – М. : ЛЕНАНД, 2019. – 320 с.
- 2 **Колесник, С. А.** Метод идентификации нелинейных компонентов тензора теплопроводности анизотропных материалов / С. А. Колесник // Математическое моделирование. – 2014. – Т. 26, № 2. – С. 119–132.
- 3 **Колесник, С. А.** Идентификация компонентов тензора теплопроводности анизотропных композиционных материалов / С. А. Колесник // Механика композиционных материалов и конструкций. – 2012. – Т. 18, № 1. – С. 111–120.
- 4 **Формалёв, В. Ф.** Моделирование сопряженного тепло-обмена в пакетах малогабаритных плоских газодинамических сопел с охлаждением / В. Ф. Формалёв, С. А. Колесник, Е. Л. Кузнецова // Теплофизика высоких температур. – 2015. – Т. 53, № 5. – С. 735.

УДК 539.3

ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ МОДИФИЦИРОВАННЫХ КОМПОЗИТОВ С ВИСКЕРИЗОВАННЫМИ ВОЛОКНАМИ

Г. И. КРИВЕНЬ, А. А. ОРЕХОВ

Московский авиационный институт (НИИ), Российская Федерация

В работе исследуется устойчивость модифицированных композитов, армированных волокнами с «выращенными» на их поверхности вискерсами (микро-наноструктурами) [1–5]. Отработаны аналитические и численные решения по оценке физико-механических свойств модифицированных композитов, методики проектирования и рационального выбора параметров для реализации высоких демпфирующих динамических характеристик одновременно с высокой локальной устойчивостью элементов структуры при сжатии.

На различных масштабных уровнях исследована устойчивость модифицированных композитов с возможным искривлением волокон под действием сжимающих нагрузок и влияние характеристик межфазного слоя на процесс локальной потери устойчивости.

Показано, что межфазный слой с регулируемой жесткостью позволяет не только повысить прочность, жесткость и демпфирующие свойства композита в целом (за счет повышения трансверсальной прочности), но и при одной и той же объемной доле армирующих волокон (для классического композита армирующим элементом выступает волокно, а для рассматриваемого модифицированного композита – волокно с выращенными на его поверхности наноструктурами) позволяет добиться существенно большей локальной устойчивости, определяющей характерный тип микроповреждений при сжатии.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых - кандидатов наук МК-3607.2022.1.1

Список литературы

- 1 Grafting straight carbon nanotubes radially onto carbon fibers and their effect on the mechanical properties of carbon/carbon composites / Q. Song [et al.] // Carbon. – 2012. – Vol. 50. – P. 3943–3960.