УДК 539.3

ЧИСЛЕННЫЕ РЕШЕНИЯ ОБРАТНЫХ КОЭФФИЦИЕНТНЫХ ЗАДАЧ ТЕПЛОПЕРЕНОСА В АНИЗОТРОПНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛАХ С ОПРЕДЕЛЕНИЕМ КОМПОНЕНТОВ ТЕНЗОРА ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ

Е. Л. КУЗНЕЦОВА
Московский авиационный институт (НИУ), Российская Федерация

При решении прямых задач теплопереноса в условиях аэрогазодинамического нагрева ЛА по входным данным – тепловым потокам от газодинамических течений, значениям ТФХ, геометрии объекта и т. п. – определяются тепловые потоки и температурные поля в теле. Эти задачи называют прямыми задачами теплообмена. В обратных задачах (задачах идентификации) по распределению температур в теле, полученным экспериментальным путем, определяются все параметры, которые в прямых задачах являются входными данными, т. е. тепловые потоки от газа, коэффициенты переноса – ТФХ, величины уноса массы и т. п. Сложность решения задач идентификации заключается в том, что все они являются нелинейными, даже если прямая задача линейна, обратные операторы могут быть плохо обусловленными, т. е. малым колебаниям входных данных (в экспериментальных значениях) значения идентифицированных параметров могут быть значительными. В этом случае говорят, что обратная задача – некорректна. К настоящему времени нет единого подхода к решению задач идентификации, особенно в самой сложной ее части – коэффициентных обратных задачах. Существующие методы базируются в основном на теории оптимального управления квадратичной невязкой между экспериментальными значениями температур и полученными расчетным путем. Совершенно открыт вопрос об определении характеристик композиционных материалов в условиях высоких температур, а также характеристик анизотропных материалов [1–8]. В данном научном исследовании была разработана методология решения обратных задач теплопереноса в композиционных анизотропных материалах, включающая в себя решение следующих проблем: разработка устойчивого разностно-итерационного метода на основе методов градиентного спуска с надежным определением параметров спуска; исследовалась сходимость, устойчивость, были доказаны теоремы о существовании решения обратной задачи и о ее единственности. С помощью разработанного метода необходимо определять серию параметров в количестве до десяти.

В научном исследовании были получены аналитические решения многомерных нестационарных задач теории теплопроводности в анизотропных телах с граничными условиями первого, второго и третьего родов, а также новые численные методы решения тех же задач. С помощью этих методов были получены многомерные распределения температур в анизотропных областях, перенос тепла в которых описывается не скалярными значениями, а тензорами второго ранга. Эти распределения температур используются в обратных задачах теплопереноса в композиционных анизотропных материалах при построении квадратичного функционала невязки между экспериментальными и теоретическими значениями температур. При этом количество точек в теле, в которых должна быть измерена температура, должно быть не менее девяти для анизотропного материала (аналог конечно-разностного шаблона на плоскости при численном решении). К полученному функционалу напрямую не применяются необходимые условия минимума, как в традиционных методах. В предлагаемой методологии выражение линеаризуется путем разложения его в ряд Тейлора с удержанием только линейных слагаемых относительно вектора параметров, а затем к упрощенному функционалу применяются необходимые условия минимума для определения вектора параметров спуска с использованием метода градиентного спуска. Преимуществом данного подхода является явное выделение вектора приращений параметров спуска.

Результаты научного исследования позволяют решать принципиально новые задачи, а именно определять практически все множество теплофизических характеристик анизотропных композиционных материалов, используемых для тепловой защиты гиперзвуковых летательных аппаратов, по результатам измерения температур.

Результаты научного исследования позволяют расширить теоретические знания о методах решения обратных задач теории теплопроводности в анизотропных композиционных материалах, используемых в качестве теплозащитных при аэрогазодинамическом нагреве.

Работа выполнена в Московском авиационном институте при финансовой поддержке РФФИ проект № 20-01-00523А.

Список литературы

1 **Formalev, V. F.** On Thermal Solitons during Wave Heat Transfer in Restricted Areas / V. F. Formalev, S. A. Kolesnik // High Temperature. – 2019. – 57(4). – P. 498–502.

2 Origination and propagation of temperature solitons with wave heat transfer in the bounded area during additive technological processes / V. F. Formalev [et al.] // Periodico Tche Quimica. – 2019. – 16(33). – P. 505–515.

3 **Formalev, V. F.** Mathematical modeling of a new method of thermal protection based on the injection of special coolants / V. F. Formalev, S. A. Kolesnik, E. L. Kuznetsova // Periodico Tche Quimica. – 2019. – 16(32). – P. 598–607.

4 **Formalev, V. F.** Simulation of Nonequilibrium Heat Transfer in an Anisotropic Semispace Under the Action of a Point Heat Source / V. F. Formalev, É. M. Kartashov, S. A. Kolesnik // Journal of Engineering Physics and Thermophysics. – 2019. – 92(6). – P. 1537–1547.

5 **Kurchatov, I. S.** Obtaining Spectral Characteristics of Semiconductors of AIIBVI Type Alloyed with Iron Ions Using Direct Matrix Analysis / I. S. Kurchatov, N. A. Bulychev, S. A. Kolesnik // International Journal of Recent Technology and Engineering. – 2019. – Vol. 8, is. 3. – P. 8328–8330.

6 **Formalev, V. F.** Identification of new law for decomposition of bonding heat-shielding composite materials / V. F. Formalev, S. A. Kolesnik, E. L. Kuznetsova // Asia Life Sciences. – 2019. – 10(1). – P. 139–148.

7 **Kuznetsova, E. L**. Mathematical model of energy efficiency of mechatronic modules and power sources for prospective mobile objects / E. L. Kuznetsova, A. V. Makarenko // Periodico Tche Quimica. – 2019. – 16(32). – P. 529–541.

8 **Bulychev, N. A.** Ultrasonic Application of Nanostructured Coatings on Metals / N. A. Bulychev, E. L. Kuznetsova // Russian Engineering Research. – 2019. – 39(9). – P. 809–812.

УДК 512.567.5

ПОЛУАБЕЛЕВОСТЬ, САМОСОВМЕЩЕНИЯ И РОДСТВЕННЫЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ

Ю. И. КУЛАЖЕНКО
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Актуальной задачей теории полиадических групп была и остается задача установления новых критериев полуабелевости. Подтверждением тому могут служить работы [1–4] математиков, труды которых принято относить к разряду классических в этой области.

Не менее важным для развития теории полиадических групп и их приложений является установление новых критериев самосовмещения элементов *n*-арных групп [5].

Представляемые результаты примыкают к указанным направлениям исследований и являются внешними критериями по отношению к полиадическим группам, поскольку получены в области приложений этих групп в аффинной геометрии.

Заметим, что параллелограмм *G*, присутствующий в формулировках, построен при помощи родственных преобразований, используемых, в частности, в аффинной геометрии.

В дальнейшем элементы *n*-арной группы *G* будем называть точками.

Напомним, что точку $S_a(b)=[ab^{[-2]}\overset{2n-4}{b}a]$ называют точкой, симметричной точке в относительно точки a.

Четырехугольник $<a, b, c, d>$ называют параллелограммом *G*, если $\left[ab^{[-2]}\overset{2n-4}{b}c\right]=d$. *N*-арную группу *G* называют полуабелевой, если для любой последовательности $x^n \in X^k$ справедливо равенство $\left[x_1x_2^{n-1}x_n\right]=\left[x_nx_2^{n-1}x_1\right]$. Говорим, что точка *p* самосовмещается относительно элементов последовательности $< a_1,\ldots,a_k>$, если $S_{ak}\left(\ldots\left(S_{a_2}\left(S_{a_1}(p)\right)\right)\ldots\right)=p$, где $p\in G$, $a_1^k\in G^k$.

Другие обозначения и понятия можно найти в [5].

Сформируем полученные результаты.

Теорема 1. Пусть *a*, *b*, *c*, *d* – произвольные точки из *G*. *G* будет полуабелевой *n*-арной группой тогда и только тогда, когда четырехугольник