

3. Аксенов А.В. Фундаментальное решение уравнений в перемещениях для трансверсально изотропной упругой среды // Доклады АН. 2016. Т. 470. № 5. С. 514–518.

## Моделирование и оптимизация в задачах дизайна тепловых оболочек

<sup>1,2</sup>Г. В. Алексеев, <sup>3</sup>В. А. Левин, <sup>2</sup>Ю. Э. Спивак,  
<sup>1</sup>Д. А. Терешко

<sup>1</sup>*Институт прикладной математики ДВО РАН*

<sup>2</sup>*Дальневосточный федеральный университет*

<sup>3</sup>*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова*

[alekseev@iam.dvo.ru](mailto:alekseev@iam.dvo.ru)

В последние годы интенсивно развивается новое направление в тепломассопереносе, связанное с разработкой технологий дизайна специальных функциональных устройств, служащих для управления потоками тепла. Одним из важнейших таких функциональных тепловых устройств является тепловая оболочка, представляющая собой область, имеющую вид сферического слоя (или кольца на плоскости  $\mathbb{R}^2$ ), заполненную неоднородной и анизотропной в общем случае средой. В зависимости от поставленной цели указанная тепловая оболочка может служить для тепловой маскировки любого объекта, помещенного внутрь ее, либо, наоборот, для концентрирования тепла в ее внутренности [1,2]. О других возможных целях построения проектируемых тепловых оболочек можно прочесть, например, в [3,4].

При решении задач дизайна средств тепловой маскировки либо концентрирования тепла применяются как экспериментальные, так и теоретические методы. Большинство экспериментальных исследований в этой области направлено на изучение возможностей и способов управления тепловыми потоками с помощью специально разрабатываемых для этой цели новых материалов (см. [1]). Теоретические исследования направлены на разработку методов дизайна тепловых функциональных устройств, служащих для управления потоками тепла. Применение теоретических методов приводит к необходимости решения обратных

задач для соответствующей модели теплопереноса. Указанные задачи заключаются в выборе параметров среды, заполняющей оболочку с заданной топологией исходя из некоторой дополнительной информации о создаваемом тепловом поле, вытекающей из цели проектируемого устройства.

При некоторых упрощающих предположениях задачи дизайна функциональных тепловых устройств были рассмотрены в ряде работ (см., например, [3,4] и ссылки там), где предложен метод построения точных решений, основанный на методе Фурье. Однако этот метод применим лишь при выполнении жестких упрощающих предположений, обеспечивающих построение в явном виде точного или приближенного решения прямой задачи теплопереноса.

В настоящей работе исследуются задачи управления для стационарной модели теплопереноса. Указанные задачи возникают при разработке технологий дизайна тепловых оболочек, предназначенных для маскировки материальных тел или концентрации тепла внутри оболочки. Особое внимание уделяется анализу слоистых оболочек, состоящих из конечного числа слоев, каждый из которых заполнен однородной изотропной либо анизотропной средой. В частном случае однослойной однородной анизотропной оболочки приводится и анализируется точное решение. С помощью оптимизационного метода рассматриваемые обратные задачи сводятся к задачам управления. Для их решения используется разработанный в [5,6] численный алгоритм, основанный на методе роя частиц, обсуждаются результаты вычислительных экспериментов.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 16-01-00365-а) и РНФ (проект 14-11-00079).

## **Литература**

1. Narayana S., Sato Y. Heat flux manipulation with engineered thermal materials // Phys. Rev. Lett. 2012. V. 108. 214303.
2. Guenneau S., Amra C., Veynante D. Transformation thermodynamics: cloaking and concentrating heat flux // Opt. Express. 2012. V. 20. 8207.
3. Han T., Qiu C.-W. Transformation Laplacian metamaterials: recent advances in manipulating thermal and dc fields // Opt. 2016. V. 18. 044003.

4. Алексеев Г. В. Проблема невидимости в акустике, оптике и теплопереносе. Владивосток: Дальнаука, 2016.
5. Алексеев Г. В., Левин В. А., Терешко Д. А. Оптимизационный анализ задачи тепловой маскировки цилиндрического тела // Докл. АН. 2017. Т. 472, N 4. С. 398–402.
6. Алексеев Г. В., Левин В. А., Терешко Д. А. Оптимизационный метод в задачах дизайна сферических слоистых тепловых оболочек // Докл. АН. 2017. Т. 476, N 5.

## **Термомеханическая модель поведения непроницаемой пористой среды с химически активным наполнителем**

**М. В. Алексеев, Е. Б. Савенков**

*ФГУ ФИЦ «Институт прикладной математики им. М. В. Келдыша  
РАН»*

mikhail.alekseev@phystech.edu

В работе рассматривается самосогласованная математическая модель термомеханического поведения упругой среды, содержащей пустоты, заполненные химически активным веществом [1,2].

Для описания поведения вмещающей пустоты (поры) среды используются уравнения термомеханики, описывающие совместную эволюцию механических и температурных полей.

Процессы в порах описываются сосредоточенной моделью с учетом энерговыделения, химических реакций и условий фазового равновесия. Модель состояния вещества в порах позволяет учитывать произвольное число компонент, которые могут находиться в твердой и трех подвижных фазах (жидкой и газообразной углеводородных и водной). Распределение компонент по фазам определяется термодинамически согласованным способом, при этом любой подвижный компонент может присутствовать в любой из подвижных фаз. Для описания термодинамического поведения компонент и фаз с учетом фазовых переходов используются кубические уравнения состояния, распространенные в инженерной практике.