

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО  
ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ЯДЕРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ «МИФИ»

---

**VII МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ  
«ЛАЗЕРНЫЕ, ПЛАЗМЕННЫЕ  
ИССЛЕДОВАНИЯ И ТЕХНОЛОГИИ»  
ЛАПЛАЗ-2021**

**СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ**

**Часть 1**

Москва

УДК:001.89[621.373.8+533.9+539.2+621.384](06)

ББК 72

М 43

VII Международная конференция «Лазерные, плазменные исследования и технологии» ЛаПлаз-2021: Сборник научных трудов. Ч.1. М.: НИЯУ МИФИ, 2021. – 460 с.

Сборник научных трудов содержит доклады, включенные в программу VII Международной конференции «Лазерные, плазменные исследования и технологии – ЛаПлаз-2021», которая пройдет с 23 по 26 марта 2021 года в дистанционном формате. Организатором конференции выступает Институт лазерных и плазменных технологий НИЯУ МИФИ. Тематика конференции охватывает широкий круг вопросов: лазерная физика и лазерные технологии; физика плазмы и плазменные технологии; сверхсильные лазерные поля; управляемый термоядерный синтез; современные проблемы теоретической физики; современные проблемы физики твердого тела, функциональных материалов и наносистем; ускорители заряженных частиц и радиационные технологии; современные проблемы квантовой метрологии, физика высокой плотности и энергии, электрофизическое и ядерное приборостроение.

Статьи получены до 10 марта 2021 года. Материалы издаются в авторской редакции.

Ответственный редактор: Крупышева П.О.

ISBN 978-5-7262-2767-2

©Национальный исследовательский  
ядерный университет «МИФИ», 2021

Подписано в печать. Формат

*Национальный исследовательский ядерный университет  
«МИФИ» Типография НИЯУ МИФИ 115409, Москва, Каширское ш.,31*

Вас.С. ИВАНОВ, В.С. ИВАНОВ, С.М. ФРОЛОВ

*Федеральный исследовательский центр химической физики им. Н.Н. Семенова РАН,  
Москва, Россия*

## **РЕШЕНИЕ УРАВНЕНИЯ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ БЕССЕ- ТОЧНЫМ ЧИСЛЕННЫМ МЕТОДОМ СГЛАЖЕННЫХ ЧА- СТИЦ В ЗАДАЧАХ С ЗАДАННЫМ ТЕПЛОВЫМ ПОТОКОМ**

Разработана вычислительная программа для трехмерного расчета распростра- нения тепла в трехмерных телах, в том числе с заданным тепловым потоком через стенку. Выполнена проверка реализованного алгоритма на задачах с аналитиче- скими или полученными с помощью сеточных методов решениями. Получено удовлетворительное количественное и качественное согласие результатов расче- тов. Разработанный алгоритм будет использован для решения сопряженных газо- динамических и тепловых задач.

Vas.S. IVANOV, V.S. IVANOV, S.M. FROLOV

*N.N. Semenov Federal Research Center for Chemical Physics, RAS, Moscow, Russia*

## **SOLUTION OF THERMAL CONDUCTIVITY EQUATION BY A MESHLESS METHOD OF SMOOTHED PARTICLE HYDRO- DYNAMICS IN PROBLEMS WITH A GIVEN HEAT FLUX**

A computational program for a three-dimensional calculation of heat propagation in three- dimensional bodies, including a given heat flux through the wall has been devel- oped. An implemented algorithm is checked on problems with analytical or obtained by grid solutions. Satisfactory quantitative and qualitative agreement between the results has been obtained. The designed algorithm will be used to solve conjugate gas-dynamic and thermal tasks.

Расчет распространения тепла в твердом теле связано с решением начально- краевой задачи, которая в большинстве случаев не имеет анали- тического решения. Для получения численных решений в задачах с обла- стями сложной геометрии предпочтение часто отдают бессеточным мето- дам, одним из которых является метод сглаженных частиц (МСЧ) [1]. Нами разработан параллельный вариант МСЧ, использующий GPU для решения задач распространения тепла в твердом теле. Математическая модель основана на уравнении теплопроводности изотропного материала в присутствии объемных источников тепла. Разностный аналог дифференциального уравнения распространения тепла имеет следующий вид [2]:

$$c_i \frac{dT_i}{dt} = \sum_j \rho \frac{m_j}{k_j} \frac{4k_i}{(k_i + k_j)} \nabla W_{ij}(\mathbf{r}_i - \mathbf{r}_j) \frac{1}{r_{ij}^2 + \eta^2} + F_i$$

где  $c$  – удельная теплоемкость,  $T$  – температура,  $m$  – масса частицы,  $\rho$  – плотность,  $k$  – коэффициент теплопроводности,  $\nabla W$  – производная сглаживающей функции,  $\mathbf{r}$  – радиус-вектор в трехмерном пространстве,  $F$  – плотность объемных источников тепла.

Для проверки алгоритма нами проведены расчеты распространения тепла в твердом теле кубической формы размерами 1х1х1 м. В данном теле на одну из граней куба подавался постоянный тепловой поток, а остальные стенки задавались теплоизолированными.

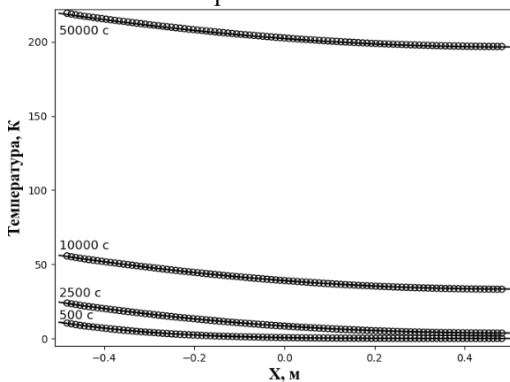


Рис. 1 Сравнение численных расчетов распределения температуры внутри куба бессеточным методом (маркеры) с результатами расчетов, полученных методом конечных объемов (сплошная линия), для четырех моментов времени.

На Рис. 1 представлено сравнение распределения температуры внутри куба для четырех моментов времени. Из Рис. 1 видно удовлетворительное количественное и качественное согласие результатов расчетов с использованием бессеточного численного метода.

*Список литературы*

1. Gingold R.A., Monaghan J.J. Smoothed Particle Hydrodynamics: Theory and Application to Nonspherical Stars // Mon. Not. Roy. Astron. Soc., 1977. T. 181.C. 375
2. Sikarudi M. A. E., Nikseresht A. H. Neumann and Robin boundary conditions for heat conduction modeling using smoothed particle hydrodynamics //Computer Physics Communications, 2016. T. 198.C. 1-11.