

8. Шумова Л.А. Автоматизация процесса верификации прогнозных моделей в задачах управления динамическими системами / Л. А. Шумова // VI Международная конференция «Стратегия качества в промышленности и образовании», 4-11 июня 2010 г., Варна, Болгария : материалы. – Д. ; Варна, 2010. – Т. 2, (ч. 2). – С.678-680.

Поступила 23.10.2017р.

УДК 519.633.6

В.В. Хайдуров, Киев

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИКЛАДНЫХ ОБРАТНЫХ ЗАДАЧ ПО ВЫЧИСЛЕНИЮ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ

Abstract. The scientific and practical nonlinear optimization problems of the XXI century need to develop effective methods for their solution. Nonlinear inverse heat conduction problems are a separate layer of problems, which require a lot of time to solve. This type of problem is referred to conditional optimization problems. It should be noted that the heat conductivity equation itself is the limitation here. In the process of finding a numerical solution of such problems, the question of its regularization often arises. Problems have an incorrect formulation. The paper considers the main methods that can and should be applied in solving inverse heat conduction problems, in particular, problems that need to find the coefficient of thermal conductivity of some investigated object. A comparative analysis of the application of the finite element method and the method of finite differences in solving of this type of problem is carried out.

Вступление. Обратные задачи теплопроводности (ОЗТ) – это класс задач условной оптимизации, в которых главным ограничением выступает само уравнение теплопроводности. Данный класс задач встречается в работах, например, в [1], где исследовалась устойчивость полученных численных решений рассматриваемых задач. ОЗТ делятся на подклассы в зависимости от технического задания: ОЗТ на восстановления начального условия, ОЗТ на восстановления краевых условий, ОЗТ на восстановление теплофизических характеристик некоторого рассматриваемого объекта и т.д. [1; 3]. Для нахождения численного решения одной ОЗТ, нужно несколько раз находить численные решения прямых задач теплопроводности (ПЗТ). Любая ПЗТ сводится к решению системы алгебраических уравнений (СЛАУ), у которой главная матрица имеет разреженную структуру [1, 2, 6, 7]. На сегодняшний день существует ряд прикладных программных пакетов, которые работают с разреженными матрицами. Выбор численного решения ПЗТ есть первично важным фактором, который используется при решении ОЗТ [4]. В работе рассмотрены основные современные методы

дискретизации нелинейного уравнения теплопроводности при решении обратных задач и их компьютерная реализация.

В области $D \times [0, \tau]$ рассматривается уравнение теплопроводности [3, 6]:

$$\rho C \frac{\partial T}{\partial t} = \nabla(k \nabla T) \quad (1)$$

Полное решение задачи теплопроводности у заданной области содержит:

1) значение температуры во всех внутренних точках области, то есть $\forall x \in D, \forall t \in [0, \tau]$ известно $T(x, t)$. В частности, известно следующее:

1а) начальное распределение температуры $T_{\text{init}}(x) = T(x, 0)$.

1б) конечное $T_{\text{fin}}(x) = T(x, \tau)$ распределение температуры.

2) Граничные условия: $\partial D = \partial D_D + \partial D_N$, $x \in \partial D_D : T = T(x, \tau)$; $x \in \partial D_N : \partial T / \partial n = p(x, \tau)$. Тут ∂D – граница области, ∂D_D – часть границы (возможно, пустая), на которой задано условие Дирихле и ∂D_N – часть границы, на которой задано условие Неймана, n – нормаль к границе области.

3) Зависимость параметров задачи от координат и температуры:

а) $\rho = \rho(x, T)$, $C = C(x, T)$; б) $k = k(x, T)$.

В данном случае, прямая задача теплопроводности формулируется следующим образом.

Дано уравнение (1), начальное распределение температуры 1а), граничные условия 2), зависимость параметров от координат и температуры 3). Нужно найти конечное распределение температуры 1б) и, как промежуточный результат, значения температуры во всех внутренних точках области 1) для $\forall t \in [0, \tau]$.

Постановка задачи. В работе рассматривается следующая постановка ОЗТ. Дано уравнение (1), начальное распределение температуры 1а), конечное распределение температуры 1б), граничные условия 2), зависимости параметров от координат и температуры 3а). Нужно найти коэффициент теплопроводности 3б) и, как промежуточный результат, значения температуры во всех внутренних точках области 1) для $\forall t \in [0, \tau]$.

Т.е. нужно найти коэффициент теплопроводности \bar{k} такой, что

$$J(\bar{k}) = \|T(\bar{k}) - T_{\text{fin}}\| \rightarrow \min \text{ или } J(\bar{k}) = \int_D (T(\bar{k}) - T_{\text{fin}})^2 dD \rightarrow \min. \quad (2)$$

В качестве нормы в (2) используется норма L_2 , то есть $\|x\| = \int_D x^2 dD$ или,

в дискретном случае, $\|x\| = \sum x_i^2$.

Методики построения итерационной процедуры минимизации

функционала (2) приведены в [6, 7]. Рассмотрим основные методы дискретизации нелинейного уравнения теплопроводности методами конечных разностей и конечных элементов.

Методы решения. *Метод конечных разностей. Дискретизация уравнения. Основные подходы.* Рассмотрим нелинейное уравнение теплопроводности вида:

$$\rho(T(x, y))C(T(x, y))\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x}\left(a(T(x, y))\frac{\partial T}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(a(T(x, y))\frac{\partial T}{\partial y}\right) \quad (3)$$

Для уравнения (3) напомним его дискретный аналог, используя метод конечных разностей:

$$\begin{aligned} \left.\frac{\partial T}{\partial x}\right|_{(i,j)} &= \frac{T_{i+0.5,j} - T_{i-0.5,j}}{\Delta x}, \quad \left.\frac{\partial T}{\partial y}\right|_{(i,j)} = \frac{T_{i,j+0.5} - T_{i,j-0.5}}{\Delta y} \\ \left[a(T(x, y))\frac{\partial T}{\partial x}\right]_{(i,j)} &= a(T_{i,j})\frac{T_{i+0.5,j} - T_{i-0.5,j}}{\Delta x} = a_{i,j}\frac{T_{i+0.5,j} - T_{i-0.5,j}}{\Delta x} \\ \left[a(T(x, y))\frac{\partial T}{\partial y}\right]_{(i,j)} &= a(T_{i,j})\frac{T_{i,j+0.5} - T_{i,j-0.5}}{\Delta y} = a_{i,j}\frac{T_{i,j+0.5} - T_{i,j-0.5}}{\Delta y} \\ \left[\frac{\partial}{\partial x}\left(a(T(x, y))\frac{\partial T}{\partial x}\right)\right]_{(i,j)} &= \frac{a_{i+0.5,j}\frac{T_{i+1,j} - T_{i,j}}{\Delta x} - a_{i-0.5,j}\frac{T_{i,j} - T_{i-1,j}}{\Delta x}}{\Delta x} = \\ &= a_{i+0.5,j}\frac{T_{i+1,j} - T_{i,j}}{\Delta x^2} - a_{i-0.5,j}\frac{T_{i,j} - T_{i-1,j}}{\Delta x^2}. \\ \left[\frac{\partial}{\partial y}\left(a(T(x, y))\frac{\partial T}{\partial y}\right)\right]_{(i,j)} &= a_{i,j+0.5}\frac{T_{i,j+1} - T_{i,j}}{\Delta y^2} - a_{i,j-0.5}\frac{T_{i,j} - T_{i,j-1}}{\Delta y^2}. \end{aligned}$$

Обыкновенная неявная разностная схема для уравнения (3) имеет вид:

$$\begin{aligned} \rho_{i,j}^{(k+1)}C_{i,j}^{(k+1)}\frac{T_{i,j}^{(k+1)} - T_{i,j}^{(k)}}{\Delta \tau} &= a_{i+0.5,j}^{(k+1)}\frac{T_{i+1,j}^{(k+1)} - T_{i,j}^{(k+1)}}{\Delta x^2} - a_{i-0.5,j}^{(k+1)}\frac{T_{i,j}^{(k+1)} - T_{i-1,j}^{(k+1)}}{\Delta x^2} + \\ &+ a_{i,j+0.5}^{(k+1)}\frac{T_{i,j+1}^{(k+1)} - T_{i,j}^{(k+1)}}{\Delta y^2} - a_{i,j-0.5}^{(k+1)}\frac{T_{i,j}^{(k+1)} - T_{i,j-1}^{(k+1)}}{\Delta y^2}. \end{aligned}$$

Схема повышенной точности для (3) имеет вид:

$$\rho_{i,j}^{(k+1)}C_{i,j}^{(k+1)}\frac{T_{i,j}^{(k+1)} - T_{i,j}^{(k)}}{\Delta \tau} = \quad (4)$$

$$= \frac{1}{2} \left(a_{i+0.5,j}^{(k+1)} \frac{T_{i+1,j}^{(k+1)} - T_{i,j}^{(k+1)}}{\Delta x^2} - a_{i-0.5,j}^{(k+1)} \frac{T_{i,j}^{(k+1)} - T_{i-1,j}^{(k+1)}}{\Delta x^2} + a_{i,j+0.5}^{(k+1)} \frac{T_{i,j+1}^{(k+1)} - T_{i,j}^{(k+1)}}{\Delta y^2} - a_{i,j-0.5}^{(k+1)} \frac{T_{i,j}^{(k+1)} - T_{i,j-1}^{(k+1)}}{\Delta y^2} \right) + \frac{1}{2} \left(a_{i+0.5,j}^{(k)} \frac{T_{i+1,j}^{(k)} - T_{i,j}^{(k)}}{\Delta x^2} - a_{i-0.5,j}^{(k)} \frac{T_{i,j}^{(k)} - T_{i-1,j}^{(k)}}{\Delta x^2} + a_{i,j+0.5}^{(k)} \frac{T_{i,j+1}^{(k)} - T_{i,j}^{(k)}}{\Delta y^2} - a_{i,j-0.5}^{(k)} \frac{T_{i,j}^{(k)} - T_{i,j-1}^{(k)}}{\Delta y^2} \right).$$

У представления (4) появились множители вида $a_{i\pm 0.5,j}, a_{i,j\pm 0.5}$. Их, как вариант, можно приближенно заменить следующими формулами:

$$\left. \begin{aligned} a_{i+0.5,j}^{(k+1)} &\approx \frac{1}{2} \left(a_{i+1,j}^{(k+1)} + a_{i,j}^{(k+1)} \right), & a_{i-0.5,j}^{(k+1)} &\approx \frac{1}{2} \left(a_{i-1,j}^{(k+1)} + a_{i,j}^{(k+1)} \right), \\ a_{i,j+0.5}^{(k+1)} &\approx \frac{1}{2} \left(a_{i,j+1}^{(k+1)} + a_{i,j}^{(k+1)} \right), & a_{i,j-0.5}^{(k+1)} &\approx \frac{1}{2} \left(a_{i,j-1}^{(k+1)} + a_{i,j}^{(k+1)} \right). \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

После такой замены решаем поставленную нелинейную задачу теплопроводности, используя разностную схему, которая содержит 8 точек: 4 на новом (искомом слое) и 4 на старом (известном слое). Для ее решение можно использовать линеаризацию по методу Ньютона с дальнейшим применением стандартных итерационных методов решения линейных уравнений или же просто избавиться от нелинейности при построении итерационной процедуры решения нелинейного уравнения теплопроводности [8]. Перейдем к процессу линеаризации слагаемых нелинейного уравнения теплопроводности. Учítывая, что

$$\left\| T_{i,j}^{(m+1)} - T_{i,j}^{(m)} \right\| < \varepsilon. \quad (6)$$

Тогда будем иметь, что

$$a_{i,j}^{(m+1)} \approx a_{i,j}^{(m)} + a_{i,j}^{(m)} \left(T_{i,j}^{(m+1)} - T_{i,j}^{(m)} \right) \quad (7)$$

Пусть нам нужно найти распределение температуры в момент времени t_{k+1} . Процедура получения этого слоя будет получена итеративно. Для получения этого распределения температуры в нужном слое, можно использовать итерационную формулу (4) на основании (2), с учетом (3), линеаризацией на основе метода Ньютона (7) и сходимостью итерационного процесса (6):

$$\frac{T_{i,j}^{(m+1)} - T_{i,j}^{(k)}}{\Delta \tau} = \quad (8)$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{1}{4\rho_{i,j}^{(m)} C_{i,j}^{(m)}} \left(\left(a_{i+1,j}^{(m)} + a_{i,j}^{(m)} \right) \frac{T_{i+1,j}^{(m+1)} - T_{i,j}^{(m+1)}}{\Delta x^2} - \left(a_{i-1,j}^{(m)} + a_{i,j}^{(m)} \right) \frac{T_{i,j}^{(m+1)} - T_{i-1,j}^{(m+1)}}{\Delta x^2} + \right. \\
&\quad \left. + \left(a_{i,j+1}^{(m)} + a_{i,j}^{(m)} \right) \frac{T_{i,j+1}^{(m+1)} - T_{i,j}^{(m+1)}}{\Delta y^2} - \left(a_{i,j-1}^{(m)} + a_{i,j}^{(m)} \right) \frac{T_{i,j}^{(m+1)} - T_{i,j-1}^{(m+1)}}{\Delta y^2} + \right) \\
&+ \frac{1}{4\rho_{i,j}^{(m)} C_{i,j}^{(m)}} \left(\left(a_{i+1,j}^{(k)} + a_{i,j}^{(k)} \right) \frac{T_{i+1,j}^{(k)} - T_{i,j}^{(k)}}{\Delta x^2} - \left(a_{i-1,j}^{(k)} + a_{i,j}^{(k)} \right) \frac{T_{i,j}^{(k)} - T_{i-1,j}^{(k)}}{\Delta x^2} + \right. \\
&\quad \left. + \left(a_{i,j+1}^{(k)} + a_{i,j}^{(k)} \right) \frac{T_{i,j+1}^{(k)} - T_{i,j}^{(k)}}{\Delta y^2} - \left(a_{i,j-1}^{(k)} + a_{i,j}^{(k)} \right) \frac{T_{i,j}^{(k)} - T_{i,j-1}^{(k)}}{\Delta y^2} \right)
\end{aligned}$$

После того, как выполнилось условие (6). Полученное решение (8) $T_{i,j}^{(m+1)}$ принимается, как искомое $T_{i,j}^{(k+1)}$. Начальное условие для построения итерационного процесса (8) для искомого слоя берется распределение температуры на предыдущем (уже известном) слое – $T_{i,j}^{(k)}$.

Метод конечных элементов. Дискретизация уравнения. Основные подходы. Метод конечных элементов универсален. Суть работы метода практически такая же самая, как и для одномерного случая, где решаются краевые задачи для обыкновенного дифференциального уравнения [8]. Перед тем, как рассматривать дискретизацию двумерных задач (задач математической физики), нужно разобраться с сеткой расчетной области [5]. Как и в предыдущем примере нужно, чтобы все элементы были одного типа, то есть имели одинаковое количество вершин. Рассмотрим пример, когда область разбивается на треугольные элементы (рис. 1).

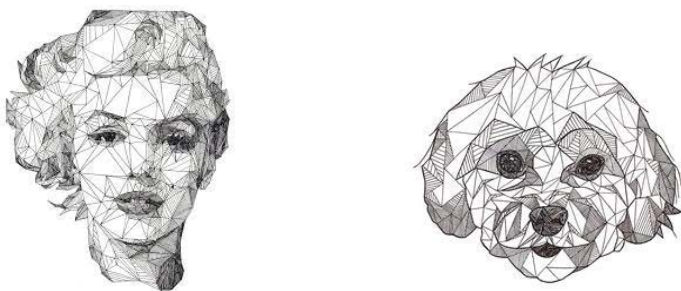


Рис. 1. Пример триангуляции рассматриваемой области

В таком случае базисная функция имеет форму пирамиды (рис. 2).

На сегодняшний день существует достаточно много алгоритмов разбиения области на треугольные элементы. Наиболее используемая на практике триангуляция – это триангуляция Делоне [5, 8]. Для построения

треугольников, которые удовлетворяют условиям Делоне, используют алгоритм Руперта. На построении триангуляции не будем останавливаться, т.к. уже существует достаточно много прикладных программных пакетов, которые способны ее сделать [8]. Будем считать, что уже область разбита на треугольные элементы.

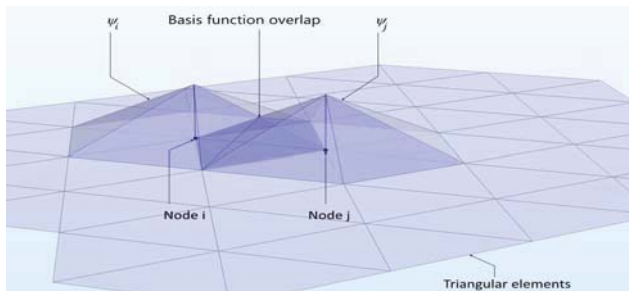


Рис. 2. Пример базисной функции при решении двумерных задач математической физики

На рис. 3 приведены часто встречаемые на практике элементы в реальных технических задачах.

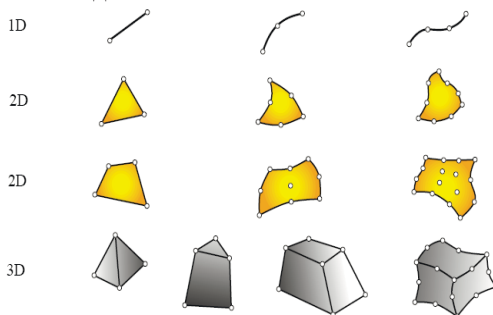


Рис. 3. Пример элементов при дискретизации рассматриваемой области

Известно, что базисную функцию нельзя представить в виде единого аналитического выражения, но ее можно представить в виде кусков функций. Основное требование – на каждом конечном элементе базисная функция должна быть, к примеру, линейной [7, 8]. Т.к. в треугольнике три вершины, значит, на нем заданы три части базисных функций. Мы будем записывать их в виде $\varphi_1(x, y) = a_{11} + a_{21}x + a_{31}y$. Следующий шаг – это построение матрицы элемента. Пусть узлы элемента имеют координаты (x_1, y_1) , (x_2, y_2) и (x_3, y_3) . Т.к. на элементе заданы три функции, то проекция на элемент представления неизвестной функции имеет вид

$$u(x, y) = u_1\varphi_1(x, y) + u_2\varphi_2(x, y) + u_3\varphi_3(x, y) = \\ = (\varphi_1(x, y) \quad \varphi_2(x, y) \quad \varphi_3(x, y))(u_1 \quad u_2 \quad u_3)^T.$$

Здесь $u_i = u(x_i, y_i)$, верхний индекс T означает «транспонированная».

Практическая часть работы. Тестирование вычислительных методов из [6, 7] с применением методов конечных разностей и конечных элементов проводилось на ряде задач с использованием компьютера со средними характеристиками. Результаты применения некоторых из них приведены ниже.

Сформулируем первую задачу в следующем виде:

$$\rho(T)C(T)\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x}\left(k(T)\frac{\partial T}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(k(T)\frac{\partial T}{\partial y}\right) - 2e^{-t}(e^{-2t}(2x+3y) - 3e^{-t}) - \\ - e^{-t}(x+y)(e^{-t}(x+y) + e^{-2t}(x+y)^2 + 1)(e^{-2t}(x+y)^2 - 2e^{-t}(x+y) + 2), \quad (9) \\ \rho(T) = 1 + T + T^2, \quad C(T) = T^2 - 2T + 2. \quad T(x, 0, t) = xe^{-t}, \quad T(x, 1, t) = (x+1)e^{-t}, \\ T(0, y, t) = ye^{-t}, \quad T(1, y, t) = (y+1)e^{-t}, \quad t \in [0; 0.2], \quad T(x, y, 0) = x + y, \\ T(x, y, 0.2) = (x + y)e^{-0.2}.$$

Решение рассматриваемой ОЗТ есть коэффициент теплопроводности:

$$k(T) = T^2 - 3T + 8.$$

Вторая задача имеет следующую формулировку:

$$\rho(T)C(T)\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x}\left(k(T)\frac{\partial T}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(k(T)\frac{\partial T}{\partial y}\right) + \\ + e^t(x-y)(e^{2t}(x-y)^2 - e^t(x-y) + 2) \times \\ \times (2e^{2t}(x-y)^2 - e^t(x-y) + 1) - 2e^t(e^{2t}(2x-2y) - 3e^t), \quad (10) \\ \rho(T) = 1 + T + 2T^2, \quad C(T) = T^2 - T + 2.$$

$$T(x, 0, t) = xe^t, \quad T(x, 1, t) = (x-1)e^t, \quad T(0, y, t) = -ye^t, \quad T(1, y, t) = (1-y)e^t, \\ t \in [0; 0.1], \quad T(x, y, 0) = x - y, \quad T(x, y, 0.1) = (x - y)e^{0.1}.$$

Решение ОЗТ: $k(T) = T^2 - 3T + 4$.

Тестирование вычислительных методов из [6, 7] было проведено на решении нелинейных ОЗТ подобных (9), (10). Задачи были решены на сетке 60×60 методом конечных разностей и на треугольной сетке с 2085 треугольниками и 3242 вершинами методом конечных элементов. Ниже приведены результаты вычислений по времени оптимизационных методов из [6, 7] (таблица 1) Точность вычислений во всех задачах всеми рассмотренными методами составляет $eps = 10^{-7}$. Для каждой задачи обоими методами при

решении нелинейных задач больше всего времени для вычислений методом скорейшего спуска.

Время вычисления численного решения задач (9) и (10) оптимизационными методами из [6, 7] с помощью методов конечных разностей и конечных элементов с точностью вычислений $\text{eps} = 10^{-7}$ приведено в таблице 1.

Таблица 1

Время вычисления численного решения

	Задача 1 (9) МКР / МКЭ, время в мин.	Задача 2 (10) МКР / МКЭ, время в мин.
Метод скорейшего спуска [6; 7]	24,35 / 19,54	30,47 / 25,14
Классический метод Ньютона [6]	14,51 / 12,81	18,82 / 15,58
Первая модификация метода Ньютона [6]	12,29 / 10,08	14,74 / 11,85
Вторая модификация метода Ньютона [6]	9,87 / 7,05	10,94 / 8,22
Третья модификация метода Ньютона [6]	8,01 / 6,47	8,11 / 6,89

Выводы. Из результатов применения методов конечных разностей и конечных элементов к ОЗТ следует, что метод конечных элементов более эффективный для данного класса обратных задач. Этот факт вытекает из времени работы программ, которые написаны в среде MatLab 2017a. Также, следует отметить, что метод конечных элементов достаточно просто применяется к задачам математической физики, в том числе и нелинейным. С его использованием можно получить решения нелинейных задач в самых разнообразных областях т.к. построение треугольной сетки пространственной области дает ряд преимуществ: описание геометрии произвольной формы, уточнение решения в конкретной части области исследуемого объекта.

1. *Мацевитый Ю.М.* Обратные задачи теплопроводности: в 2х томах / Ю.М. Мацевитый. НАН Украины. Институт проблем машиностроения имени А.Н. Подгорного – Киев: Наукова думка, 2002.
2. *Klibanov M.V.* Approximate Global Convergence and Adaptivity for Coefficient Inverse Problem / M.V. Klibanov, L. Beilina. – USA.: Springer, 2012. – 407p. ISBN 978-1-4419-7804-2.
3. *Peaceman D.W.* The Numerical Solution for Parabolic and Elliptic Differential Equations / D.W. Peaceman, H.H. Rachford. J. Soc. Ind. Appl. Math., 3, 787-793, 1955.
4. *Truffart B.A* General Optimization Algorithm to Solve 2-D Boundary Inverse Heat Conduction Problems Using Finite Elements / B. Truffart, Y. Jarny, D. Delaunay. First International Conference on Inverse Problems in Engineering: Theory and Practice, Palm Coast, FL, 53-60, 1993.
5. *Бате Н., Вилсон Е.* Численные методы анализа и метод конечных элементов. / Н. Бате, Е. Вилсон. – М.: Стройиздат, 1982. – 448 с.
6. *Головня Б.П.* «Эффективные методы решения нелинейных обратных задач теплопроводности». [Текст] / Б.П. Головня, В.В. Хайдуров. Научный журнал. Вестник Черкасского университета. Серия: «Прикладная математика. Информатика». №18 (311) – 2014, С87-98.

7. Головня Б.П. Метод нахождения чисельного розв'язку двовимірної оберненої задачі теплопровідності. [Текст] / Б.П. Головня, В.В. Хайдуров. Вісник Черкаського державного технологічного університету. Серія: «Технічні науки». №2 – 2015, С.49-56.
8. Шимкович Д.Г. Инженерный анализ методом конечных элементов. / Д.Г. Шимкович – М.: ДМК Пресс, 2008. – 701 с.

Поступила 25.09.2017р.

УДК 621.3 : 004.93

А.С. Огир, В.В. Душеба, Е.А. Огир, Киев

ОБРАБОТКА И ВЫВОД ИЗОБРАЖЕНИЙ ДЕФЕКТОВ ОБЪЕКТОВ И СРЕД С ПОМОЩЬЮ ГРАФИЧЕСКИХ АДАПТЕРОВ

Abstract. Imaging is an important step in the systems echoscopy. The quality of the image processing depends on the quality and recognizability of defects in the output acoustic image of the object. The differentiation of tasks on two levels allows full use of hardware and software graphics cards to address them. Elaboration algorithms and programs imaging in holographic imaging system, using hardware and software graphics cards – this vertex and pixel shaders.

Введение. Результатом работы систем дефектоскопии, ультразвуковой медицинской диагностики, эхолокационных и других подобных систем является визуальное изображение дефектов среды или диагностируемого объекта. Качество полученного изображения определяет пространственная и контрастная разрешающая способность системы. Разрешающая способность зависит от типа системы, частоты зондирующего импульса, размера и типа датчиков, алгоритма обработки полученного сигнала и множества других параметров, в числе которых важное место занимают алгоритмы обработки изображения при выводе на экран.

В современных системах ультразвуковой эхоскопии на стадии вывода полученного изображения на видеозэкран необходимо решать такие задачи как: *реконструкция геометрической формы изображения* в соответствии с направлением распространения зондирующих импульсов и форматом представления данных в системе; *улучшение качества изображения* с помощью различных операций преобразования растрового изображения – интерполяции, наложение фильтров резкости, подчеркивания границ, других специфических фильтров.

Так как вывод изображения осуществляется в режиме реального времени, то обе задачи являются достаточно ресурсоемкими. Центральные процессоры современных вычислительных систем далеко не в полной мере