

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ
РОССИЙСКИЙ ФОНД ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
НИИ ПРИКЛАДНОЙ МАТЕМАТИКИ И МЕХАНИКИ ТОМСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ
МЕХАНИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ
СОВЕТ МОЛОДЫХ УЧЁНЫХ ТГУ



Актуальные проблемы современной механики сплошных сред и небесной механики

Международная молодежная научная конференция

17–19 ноября 2014 г., Томск



Издательство Томского университета
2015

6. Шульц Д.С., Крайнов А.Ю. Численное моделирование безгазового горения с учётом гетерогенности структуры и зависимости диффузии от температуры // Физика горения и взрыва. 2012. Т. 48, №5. С. 142–147.

7. Мержанов А.Г., Мукасян А.С. Твердопламенное горение. М.: ТОРУС ПРЕСС, 2007. 336 с.

ЧИСЛЕННОЕ РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ О ТЕЧЕНИИ ВЯЗКОЙ ЖИДКОСТИ В ИЗОГНУТОМ КАНАЛЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ ПАРАЛЛЕЛЬНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ

Е.И. Херай

Приведены результаты численного расчета течения жидкости в изогнутом канале. Показана эффективность применения параллельного программирования для расчетов.

NUMERICAL SOLUTION OF THE PROBLEM OF FLOW OF A VISCOUS FLUID IN A CURVED CHANNEL WITH THE USE OF PARALLEL PROGRAMMING

E.I. Hergay

Results of numerical calculation of fluid flow in a curved channel is showed. Efficiency of parallel programming for the calculations is illustrated.

Параллельные вычисления – современная многогранная область вычислительных наук, бурно развивающаяся и являющаяся наиболее актуальной в ближайшее время. Актуальность данной области складывается из множества факторов, и в первую очередь исходя из потребности в больших вычислительных ресурсах для решения прикладных задач моделирования процессов в физике, биофизике, химии и др. К тому же традиционные последовательные архитектуры вычислителей и схемы вычислений находятся в преддверии технологического предела. В то же время технологический прорыв в области создания средств межпроцессорных и межкомпьютерных коммуникаций позволяет реализовать одно из ключевых звеньев параллелизма – эффективное управление в распределении вычислений по различным компонентам интегрированной вычислительной установки [1].

Процессы течения вязких жидкостей представляют большой интерес для ряда отраслей науки и промышленности. Отдельным классом могут быть выделены задачи о течении в каналах различной формы вязкой жидкости при неизотермических условиях. В данном случае рассматривается изогнутый канал. Такие задачи встречаются в технологии переработки полимерных материалов, которая сопровождается сложными гидродинамическими и теплофизическими процессами. Аналитическое решение такого класса задач очень сложно получить в силу сложного вида нелинейных уравнений, описывающих течение, а также соответствующих граничных условий. В связи с этим большое распространение для исследования движения вязкой жидкости получили численные методы [2].

Рассматривается плоское установившееся течение ньютоновской несжимаемой жидкости в изогнутом канале. Жидкость подается в канал через входное сечение с постоянным расходом, на стенках выполняются условия прилипания, на выходе – «мягкие» граничные условия. Решение поставленных задач сводится к отысканию стационарных полей скорости и давления, а также распределения изолиний функции тока, которые характеризуют картину течения.

Течение описывается системой, состоящей из уравнения движения Навье–Стокса и уравнения неразрывности [3]:

$$\begin{aligned} \rho \frac{d\mathbf{U}}{dt} &= -\text{grad}p + \mu \Delta \mathbf{U}, \\ \text{div} \mathbf{U} &= 0. \end{aligned} \quad (1)$$

Здесь \mathbf{U} – вектор скорости, компоненты которого (U, V) , t – время, ρ – плотность, p – давление, μ – динамическая вязкость.

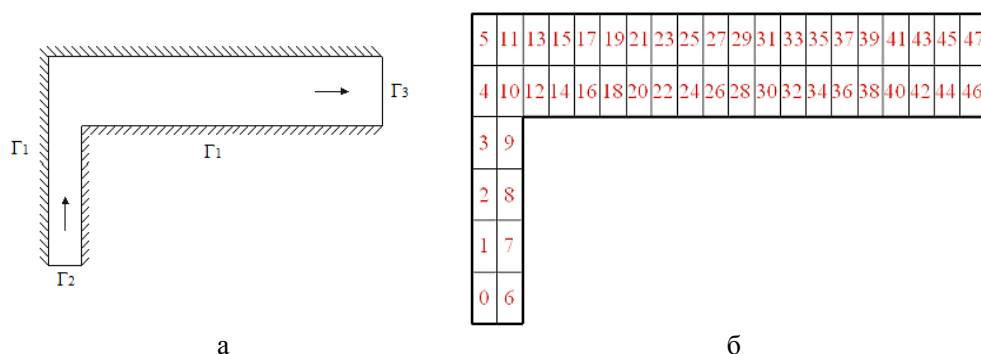


Рис. 1. Область течения (а); б – разбиение области

На рис. 1, а представлена область течения. Жидкость подается через входное сечение Γ_2 с постоянным расходом. В этом случае профиль скорости совпадает с параболическим профилем, характерным для установившегося течения ньютоновской жидкости в плоском бесконечном канале. В выходном сечении Γ_3 используются «мягкие» граничные условия, согласно которым градиент скорости по нормали равен нулю. На твердых границах Γ_1 выполняются условия прилипания. Заметим, что входные и выходные границы находятся на достаточном удалении от уступа во избежание влияния последнего на характер течения в окрестности Γ_2 и Γ_3 . Отношение поперечных размеров входного и выходного каналов α является основным параметром, определяющим геометрию области, и в рамках данной постановки $\alpha=1:2$.

В основе численной методики лежат алгоритм и программа для одного процессора, подробно описанные в дипломной работе студентки физико-технического факультета О.А. Дьяковой «Неизотермическое течение степенной жидкости в изогнутом канале» [2]. Задача решается численно с помощью конечно-разностного метода в безразмерных переменных. Для нахождения стационарных полей скорости и давления в расчетных узлах разнесенной сетки используются метод установления и алгоритм SIMPLE (Semi-Implicit Method for Pressure-Linked Equations). Расчет на каждом шаге по времени сопровождается организацией итерационного процесса, при этом для расчета скорости используется экспоненциальная схема [4].

Принцип решения задачи на суперЭВМ заключался в следующем. Вся область течения разбивается на 48 одинаковых подобластей (рис. 1, б). Данное разбиение не принципиально, другие разбиения реализуются без особых программных затрат. Каждая из подобластей рассчитывается на отдельном процессоре.

Был проведен ряд расчетов при значениях числа Рейнольдса, равных $Re=1$ и $Re=40$, картины течений представлены на рис. 2. Установлено, что линии тока уста-

новившегося течения, рассчитанные на 48 процессорах, полностью совпадают с ранее полученными результатами [3]. Все циркуляционные зоны остались, и размеры их совпадают. Наблюдается качественное и количественное совпадение результатов, что подтверждает работоспособность программного кода с использованием библиотек MPI (Message Passing Interface).

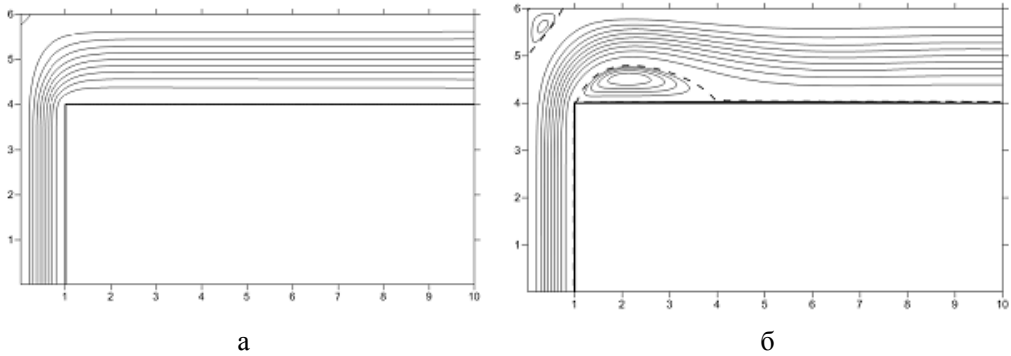


Рис. 2. Линии тока для $Re=40$ (а – посчитанные на одном процессоре; б – на 48 процессорах)

Видно, что увеличение числа Рейнольдса приводит к увеличению размеров циркуляционных зон вблизи изгибов канала. Так, при $Re=1$ размеры этих зон незначительны, а при $Re=40$ ширина этих зон немного меньше одной безразмерной единицы.

Таблица 1. Время расчета на различных сетках при $Re=1$, на сетках 1/20, 1/40 и 1/80, с

Количество процессоров	Время расчета		
	1/20	1/40	1/80
1	530	7900	260000
48 (передача «Точка-точка»)	20	600	7400
48 (пакетная передача)	5	100	2100

Также было измерено время расчета программы на последовательности сеток на одном процессоре и на 48 процессорах. Используя два метода обмена информацией, добились значительного ускорения расчета. В первом случае процессоры обмениваются информацией последовательно по одному значению, во втором – пакетами данных [5].

Таблица 2. Время расчета на различных сетках при $Re=40$, на сетках 1/20, 1/40 и 1/80, с

Количество процессоров	Время расчета		
	1/20	1/40	1/80
1	80	10400	237000
48 (передача «Точка-точка»)	10	400	8500
48 (пакетная передача)	5	80	2400

Из результатов, приведенных в табл. 1 и 2, видно, что использование пакетной передачи приводит к уменьшению расчетов в 3–5 раз по сравнению с передачей «Точка-точка» и в 30–100 раз по сравнению с расчетами на одном процессоре.

Литература

1. *Введение*. Параллельное программирование [Электронный ресурс]. URL: <http://www.course-as.ru/caper4/1%20Vvedenie.html> (дата обращения: 15.05.2013).
2. *Дьякова О.А.* Неизотермическое течение вязкой жидкости в изогнутом канале: дипломная работа. Томск: ТГУ, ФТФ, 2013.
3. *Лойцянский Л.Г.* Механика жидкости и газа / Л.Г. Лойцянский. М.: Наука, 1973. 848 с.
4. *Патанкар С.* Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкости / С. Патанкар. М.: Энергоатомиздат, 1984. 152 с.
5. *Антонов А.С.* Параллельное программирование с использованием технологии MPI: учеб. пособие. М.: Изд-во МГУ, 2004. 71 с.

**ОЦЕНКА ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ
ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ТВЕРДОТОПЛИВНЫХ КОМПОЗИЦИЙ****С.Ю. Чижов***Дана оценка технологичности изготовления высокоэнергетических твердотопливных композиций.***THE ESTIMATION to EASE OF MANUFACTURING OF THE FABRICATION
VYSOKOENERGETICHESKIH TVERDOTOPLIVNYH COMPOSITION****S.Yu. Chijov***It given the estimation to ease of manufacturing of the fabrication vysokoenergeticheskikh tverdotoplivnyh composition.***Введение**

Расчет состава топливных композиций дает возможность изготовления топливных систем, содержащих металлическое горючее в интервале от 5 до 20 мас. % в диапазоне α от 0,5 до 1,0. Практическая ценность – подготовка исходных данных для расчета термодинамических характеристик топливных систем.

Цель работы. Поиск соотношений окислителя и горючего в ТРТ, обеспечивающих необходимые механические характеристики композиций (адгезию окислителя и горючего, сопротивление растяжению и сжатию, возможность механической обработки изделий, чувствительность к удару и т.п.).

Практическая значимость. Сокращение времени и предварительного эксперимента на выбор соотношений окислителя и горючего в топливе, обеспечивающих технологичность изготовления изделий.

В представленной работе проведены:

- 1) расчет компонентного состава ТРТ в широком диапазоне коэффициентов избытка окислителя;
- 2) оценка содержания окислителя на единицу массы горючего;
- 3) построение графической зависимости и определение точек перегиба;
- 4) определение области получения технологичности топливных масс ТРТ.

Характеристики исходных компонентов.

Окислители. Нитрат аммония (NH_4NO_3) – соль азотной кислоты – относится к числу самых первых твердых ракетных окислителей. Нитрат аммония широко применяют во взрывчатых веществах и бездымных порохах, он относится к характерным соединениям первого типа (не содержащих металл). Его получают в больших количествах путем нейтрализации азотной кислоты гидроокисью аммония: