

**ПРИМЕНЕНИЕ СУПЕРКОМПЬЮТЕРОВ В РЕЖИМЕ УДАЛЕННОГО ДОСТУПА ДЛЯ
РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ БОЛЬШОЙ РАЗМЕРНОСТИ НА ПРИМЕРЕ ГИДРОДИНАМИКИ
ОБТЕКАНИЯ ТОНКОГО ПРОНИЦАЕМОГО ТЕЛА
ПО ЛИНЕЙНОЙ ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОНИЦАЕМОСТИ**

Берилген иш ири бөлүкчөлөр методу менен Россия илимдер академиясынын ведомстволор аралык суперкомпьютердик борборунун (РИА ВСБ) жогоруөндүрүмдүү эсептөө комплексинде интернет (www.jscc.ru) аркылуу алыстан жетүү режиминде өзүнөн өтмө жука телону сырттап агуу маселелерин чыгарууга арналган. Берилген иш бүгүнкү күндөгү TOP500 дүйнөлүк рейтингинде 38-нчи орундагы МВС-100К эсептөө комплексинде аткарылган.

Данная работа посвящена решению задач обтекания проницаемого тонкого тела методом крупных частиц на высокопроизводительном вычислительном комплексе Межведомственного Суперкомпьютерного Центра Российской Академии Наук (МСЦ РАН), в режиме удаленного доступа через Интернет (www.jscc.ru). Данная работа выполнялась на вычислительном комплексе МВС-100К, находящемся на сегодняшний день в мировом рейтинге TOP500 на 38-ом месте.

This work deals with the addressing of the subtle body permeable wrapping method of large particles on a high-performance computing complex Interdisciplinary Supercomputer Centre of Russian Academy of Science (MSC), remote access over the Internet (www.jscc.ru). This work was performed on computing complex ghvc-k, which is today in the world ranking TOR500 at 38th place.

Данная работа посвящена решению задач обтекания проницаемого тонкого тела методом крупных частиц на высокопроизводительном вычислительном комплексе МСЦ в режиме удаленного доступа через Интернет.

Алгоритм метода крупных частиц может быть успешно отображен на архитектуру современных и перспективных супер-ЭВМ: многопроцессорных ЭВМ, многомашинных вычислительных комплексов с нетрадиционной архитектурой, вычислительных машин потоков данных (data flow) и т.п. /1/.

Первые исследования течений жидкости через пористую среду были проведены Н.Е.Жуковским. Это направление затем было развито в работах С.А.Христиановича, П.Я.Полубариновой-Кочиной и др. Для тонкого тела модель проницаемости впервые была предложена

Х.А.Рахматулиным /2/. Достаточно подробные исследования обтекания проницаемого тонкого тела были проведены в работах /3/ и др.

Здесь мы предлагаем результаты расчетов обтекания полупроницаемого тонкого тела с использованием динамической модели проницаемости, которая имеет следующий вид /4/:

$$\Delta M_{гр} = k(p_+ - p_-), \tag{1}$$

где $\Delta M_{гр}$ – расход массы через проницаемую границу, k – динамическая коэффициент проницаемости, p_+ , p_- – значение давлений перед и за тонким телом, соответственно. k – линейный динамический коэффициент проницаемости среды. Коэффициент проницаемости k задавался в диапазоне $0 \leq k \leq 1$, т.е. охватывающим все режимы от полного непротекания до свободного протекания. Исследовались как до-, так и сверхзвуковые режимы обтекания.

В рамках единого численного подхода проведены исследования с помощью линейно динамической модели проницаемости в осесимметричном случае.

Реализация параллельного алгоритма метода крупных частиц.

Задана матрица размером $M \times N$ с количеством расчетных ячеек $(M-2) \times (N-2)$. Ячейки, не используемые в расчетах, являются фиктивными и необходимы для постановки граничных условий. Для распараллеливания расчета матрица разбивается на подматрицы по блокам строк следующим образом:

Для корректной работы алгоритмов необходимо пересылать на эйлеровом этапе данные о давлении и вертикальной компоненте скорости. На лагранжевом этапе – данные о давлении, внутренней энергии, плотности и вертикальной компоненте скорости. Всего в количестве шести величин.

Таким образом, при параллельной обработке матрицы $N \times M$ методом полос во время одной итерации пересылается $6 \cdot 2 \cdot M \cdot (num-1) \cdot 64$ байт данных. Например, для расчета матрицы в 1000 столбцов на 16 процессорах на каждой итерации необходимо пересылать 11 мегабайт данных.

Ниже приведены результаты тестирования параллельного алгоритма метода крупных частиц на суперкомпьютерном комплексе МВС-100К МСЦ РАН.

Таблица 1

Кол-во процессов	1 млн	4 млн	9 млн
1	46,02	193,13	452,98
4	13,20	68,04	158,99
16	4,60	18,89	43,78
64	1,26	5,21	11,57
144	0,85	2,42	5,21

Результаты исследований, приведенные в табл. 1 и на рис. 1, показывают, что начиная с 32 вычислительных узлов и при дальнейшем увеличении количества вычислительных процессоров время выполнения программы не уменьшается. Далее расчеты проводились на 32-х вычислительных узлах суперкомпьютера МВС-100К, показавшем свою эффективность для данного алгоритма.

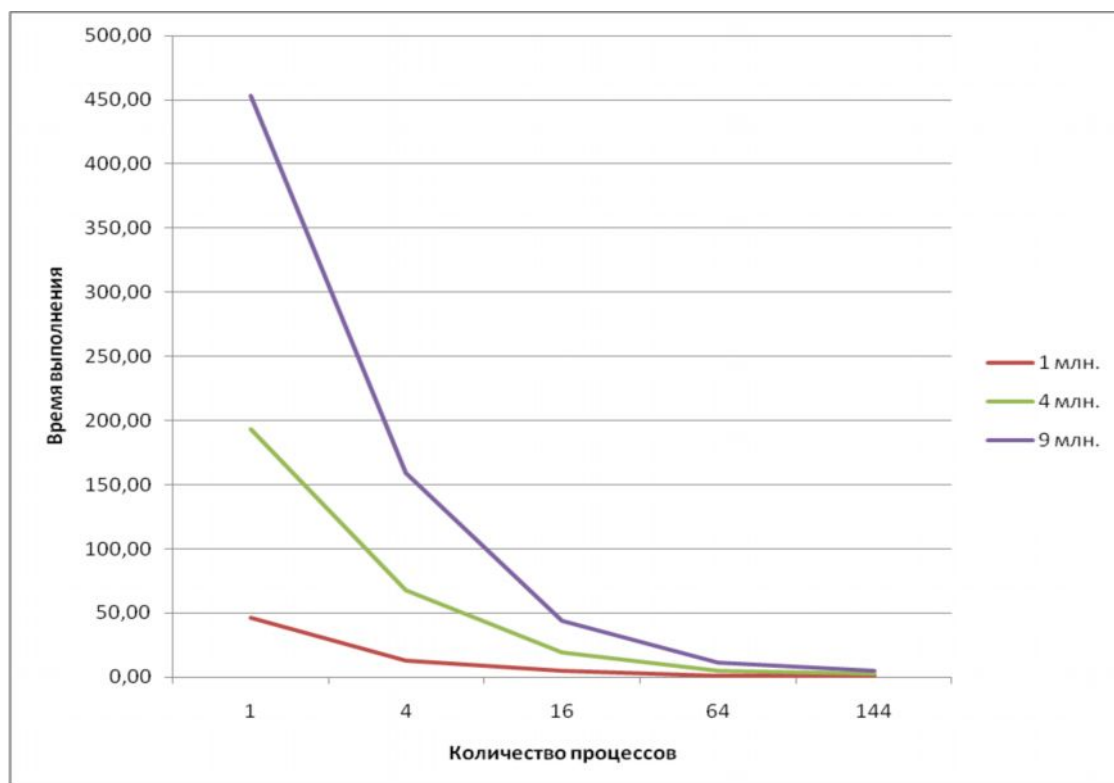


Рис.1. Зависимость времени выполнения программы от количества процессоров

При обтекании тонкого проницаемого тела с различными степенями проницаемости (от непроницаемого тела до беспрепятственного (свободного) течения) за телом образуются сложные, различного рода вихревые и безвихревые течения. Эти сложные структуры течения за проницаемым телом зависят от физических граничных условий на поверхности обтекаемого тонкого тела. Такие физические граничные условия имеют место при обтекании парашютных систем, при течении сплошных сред через пористую среду и др. Получение точных численных результатов, адекватных реальным физическим процессам, во многом зависит от качества математической модели изучаемых процессов. С этой целью были проведены достаточно подробные исследования обтекания проницаемого тонкого круглого диска. Ниже приведены некоторые результаты данных исследований на рис. 2-7.

При $k=0.0$, который соответствует тонкой твердой стенке, за пластиной имеет место известная структура возвратно-циркуляционного течения. За пластиной ближе к плоскости симметрии имеет место возвратное течение "справа-налево", и толщина этого слоя с приближением к тонкому телу увеличивается. С приближением к корме тонкого твердого тела этот слой заворачивается вертикально вверх и, встречаясь с основным потоком, уносится с ним.

Полюс центра вращения возвратно-циркуляционного движения находится за тонким телом в точке (рис. 2).

За слабо пропускающим ($k=0,1$) тонким телом образуется очень сложная вихревая зона. В этом случае вблизи плоскости симметрии, начиная от экрана ($i=3$) до расстояния ($i=17$) по оси OX , направление движения потока "слева-направо". Другой поток расположен за пластиной ближе к плоскости симметрии "справа-налево", начало которого находится за $i=41$. В районе $i=17$ по оси OX происходит встреча (столкновение) двух потоков. Эти слои, заворачиваясь вертикально вверх и, встречаясь с основным потоком, частично уносятся с ним (рис. 3).

При $k=0,175$ реализуется сквозной поток ближе к плоскости симметрии. Возвратно-циркуляционная зона отходит от проницаемого тела; при этом уменьшается ее размер (рис.4).

С увеличением коэффициента проницаемости ($k=0,225$) происходит дальнейшее увеличение толщины сквозного потока вдоль плоскости симметрии, и уменьшение размера возвратно-циркуляционной зоны (рис. 5).

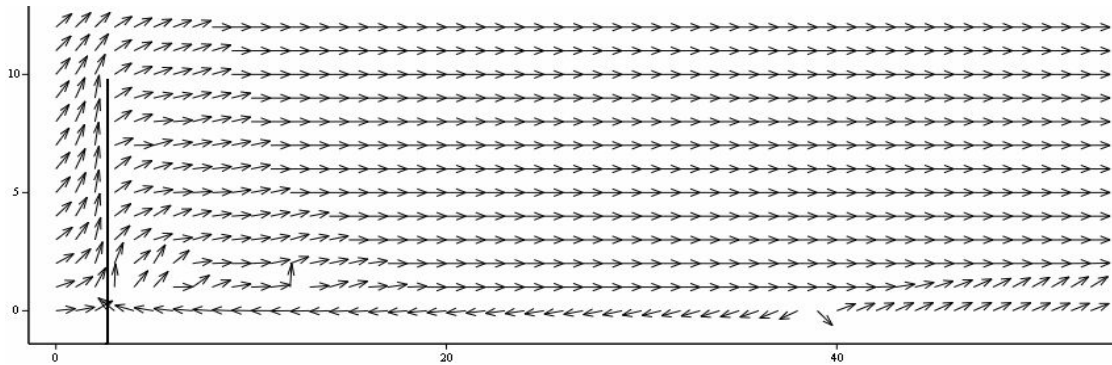


Рис. 2. Поле вектора скорости при $k=0,0$

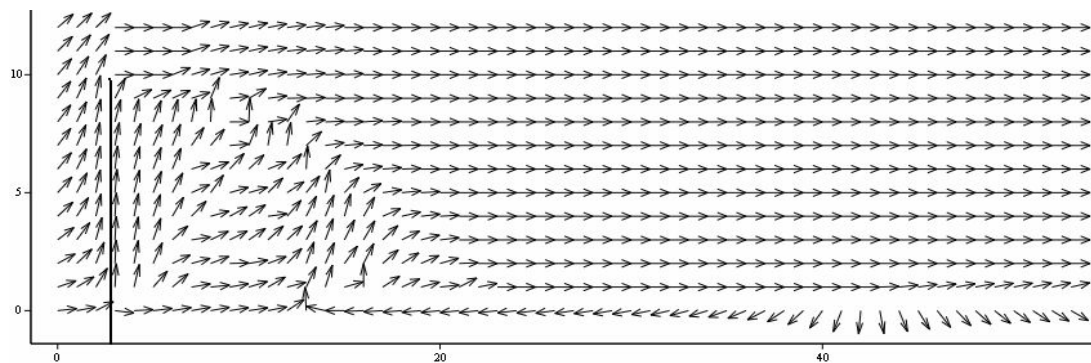


Рис.3. Поле вектора скорости при $k=0,1$

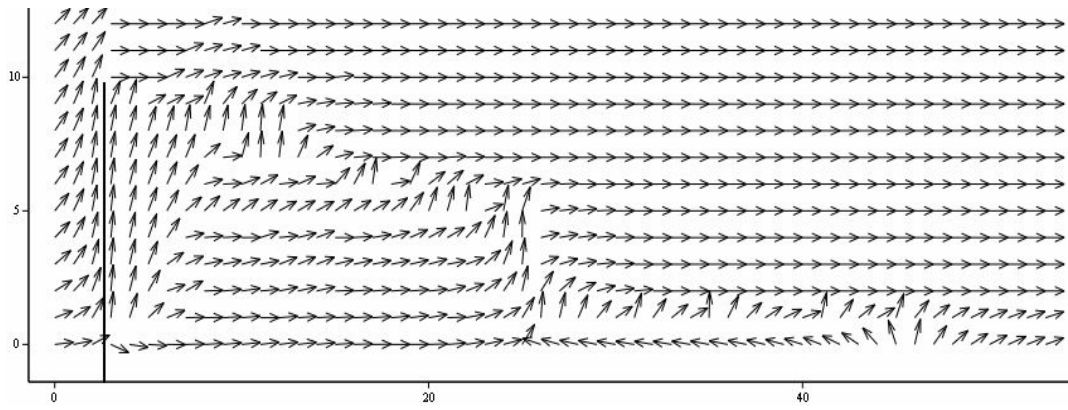


Рис.4. Поле вектора скорости при $k=0,175$

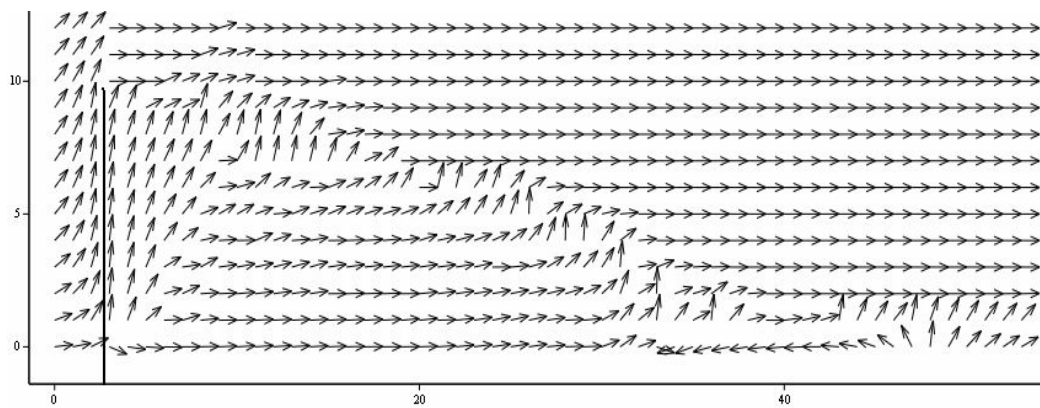


Рис.5. Поле вектора скорости при $k=0,225$

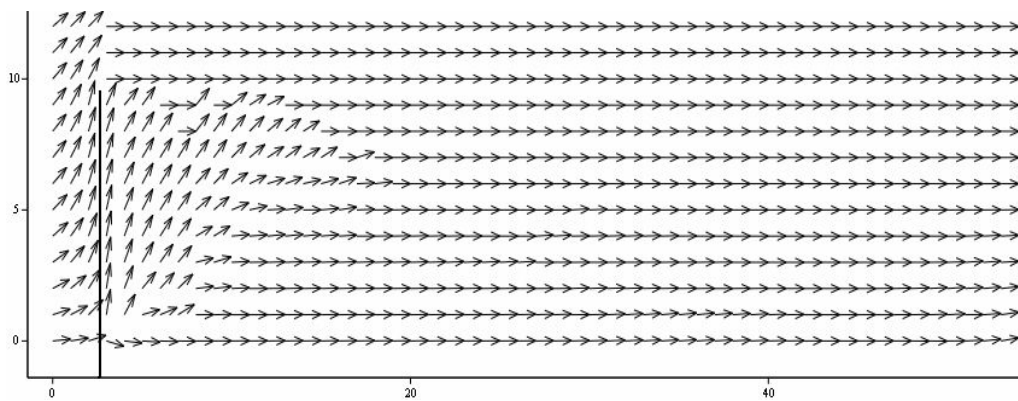


Рис.6. Поле вектора скорости при $k=0,5$

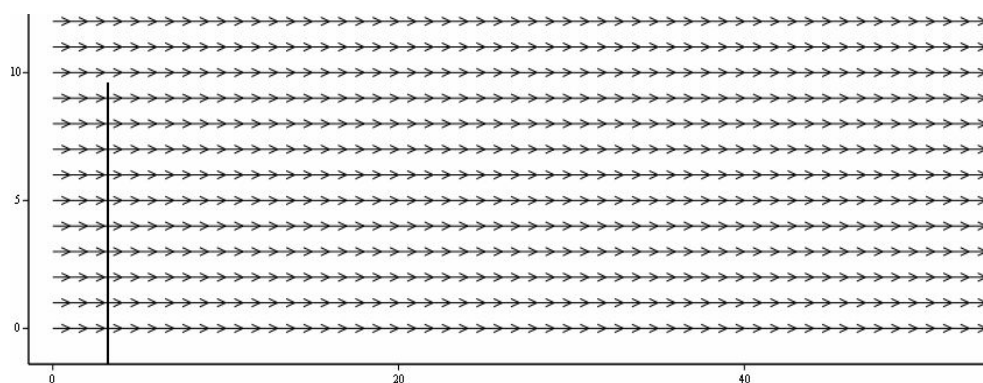


Рис.7. Поле вектора скорости при $k=1,0$

При значении $k=0,5$ возвратно-циркуляционное течение пропадает (рис.6). Реализуется безотрывное течение с некоторым сопротивлением через проницаемую пластину; перед пластиной поток подтормаживается, в окрестности пластины линии тока искривлены и обтекают верх пластины в районе её кромки.

Дальнейшее увеличение значения линейного кинематического коэффициента проницаемости k приводит к уменьшению сопротивления проницаемого тонкого тела. При этом происходит "выравнивание" физических параметров перед и за проницаемой тонкой пластиной. Значение $k=1,0$ соответствует полной проницаемости (беспрепятственному течению (рис.7). В этом случае все газодинамические параметры во всем поле течения в течение всего времени счета не изменяются (они равны параметрам невозмущенного набегающего потока).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бурцев В.С. Параллелизм вычислительных процессов и развитие архитектуры суперЭВМ. – М.: ИВВС РАН, 1997. – 152 с.
2. Рахматулин Х.А. Обтекание проницаемого тела //Вестник Московского университета, серия физико-математических и естественных наук, 1950. – № 3. – С. 3-21.
3. Белоцерковский О.М., Давыдов Ю.М. Метод крупных частиц в газовой динамике. –М.: Книга, 1982. –392 с.
4. Акжолов М.Ж., Мадера А.Г., Сотников А.Н. Численные методы решения задач математической физики на высокопроизводительном вычислительном комплексе МСЦ (системы МВС-1000/М), в режиме удаленного доступа /Московский государственный институт радиотехники, электроники и автоматики (технический университет). – М., 2004. – 64 с.