

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАДАЧ ВОДНОЙ ЭКОЛОГИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КЛАСТЕРНЫХ СИСТЕМ

О.Б. Никитенко

Южно-Российский региональный центр информатизации, Южный федеральный университет, г. Ростов-на-Дону

Тел.: (863) 97-50-94, e-mail: nikitenko@rsu.ru

Актуальность задач водной экологии связана, прежде всего, с проблемами обеспечения чистой пресной водой, строительства в водоемах дамб и каналов, неравномерного развития фитопланктона, проблемами экологических бедствий и катастроф.

Ухудшение экологической обстановки водных объектов требует умения давать точные прогнозы на перспективу, принимать оперативные решения по преодолению негативных последствий антропогенного влияния человека. И здесь на помощь приходят экологические математические модели, которые помогают отразить всю сложность явлений и процессов, происходящих в водоемах.

Разработкой одной из таких водных моделей заняты сотрудники ЮГИНФО ЮФУ. Математические модели водоемов позволяют определить гидрофизические показатели водоема, без знания которых не обойтись при прогнозе антропогенного воздействия, принятии правильных управленческих решений.

В данной работе внимание уделено такому гидрофизическому показателю, как температура. Трехмерная задача о температурном распределении в водоеме – это достаточно сложная задача, для решения которой требуются мощные вычислительные ресурсы. При решении системы линейных дифференциальных уравнений используются матрицы больших размеров, и для достижения необходимой вычислительной точности требуются специальные параллельные подпрограммы использования итерационных методов. Реализовать такую модель на обычных персональных машинах невозможно. Для этой цели используются высокопроизводительные кластерные системы и осуществляются параллельные вычисления.

В Южном федеральном университете с 1997 года функционирует центр высокопроизводительных вычислений при Южно-Российском региональном центре информатизации. Кластерные системы в ЮФУ обладают следующими характеристиками:

Linux-кластер – вычислительная система из 10 узлов. Каждый из узлов представляет собой компьютер с процессором Pentium 4 2.4 ГГц, 512 Мб оперативной памяти (RAMBUS PC-1066) и 20 Гб жестким диском.

INFINI-кластер представляет собой Linux-кластер, состоящий из хост-компьютера и 21-го вычислительного узла. Каждый вычислительный узел представляет собой компьютер с процессором Intel Pentium 4 3.4 ГГц и оперативной памятью DDR2 2 Гб.

Для реализации трехмерной математической модели температурного распределения в водоеме используются высокопроизводительные кластерные системы.

Сложность решения задачи температурного распределения связана с заданием начальных значений температуры, корректным заданием функций притоков-оттоков тепла, адекватным заданием коэффициентов и параметров уравнений и граничных условий задачи [1].

Распределение температуры в водоеме описывается уравнением конвекции-диффузии [2]:

$$\frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z} = A \Delta T + F(x, y, z, t), \quad (1)$$

где T – температура воды в водоеме; (u, v, w) – вектор скорости течения; A – коэффициент температуропроводности; $F(x, y, z, t)$ – функция учета всех притоков и стоков тепла в водоеме, основу которой составляет поток суммарной коротковолновой радиации.

При постановке задачи учитываются те компоненты теплового баланса, которые наиболее оптимально описывают тепловые процессы в водоеме в рассматриваемый (неледоставный) период времени – это суммарная коротковолновая радиация, испарение, контактный теплообмен, эффективное излучение, конвективный обмен с дном водоема.

Граничное условие на поверхности с атмосферой имеет вид [1, 3]:

$$(A + K_r) \frac{\partial T}{\partial z} \Big|_{r_1} = \frac{1}{c\rho} [S_H + P_o + S_{эф}] \quad (2)$$

где c – удельная теплоемкость, ρ – плотность,

S_H – плотность потока тепла, обусловленного теплотой фазового перехода;

P_o – плотность потока тепла, обусловленного контактным теплообменом;

$S_{эф}$ – плотность теплового потока, обусловленная эффективным излучением.

Граничное условие на твердой границе (дно водоема и суша) имеет вид:

$$\lambda_m \left(\frac{\partial T}{\partial n} \right) + c \rho K_T \frac{\partial T}{\partial n} + \alpha [T - T_c] \Big|_{\Gamma_2, \Gamma_3} = \lambda_r \frac{\partial T_r}{\partial n}, \quad (3)$$

где α – коэффициент теплообмена.

На участке втекания рек и открытой границе задается условие вида:

$$T(x, y, z, t) \Big|_{\Gamma_4} = Q(x, y, z, t), \quad (4)$$

где $Q(x, y, z, t)$ задает закон распределения температуры с течением времени.

Начальное условие задается следующим образом:

$$T(x, y, z, 0) = T_o(x, y, z), \quad (5)$$

Задача температурного распределения в водоеме решалась на примере Азовского моря. Для расчета температурного режима моря нерегулярная область Ω размером $144 \times 98 \times 15$ – акватория Азовского моря покрывалась прямоугольной равномерной сеткой. Шаг по вертикали вдоль оси OZ брался равным 1 м, что на три порядка меньше, чем по горизонтали вдоль осей OX и OY , где он был равен 2500 м. Это объясняется мелководностью Азовского моря. Используемый шаг по времени Δt равен 600 сек.

В ходе выполнения численных экспериментов сравнивалось время расчета задачи на разных вычислительных кластерах. В таблице представлено время счета задачи температурного распределения для Азовского моря на высокопроизводительных вычислительных кластерах (Linux и INFINI).

Платформа	Число узлов	Время счета (мин.)
Linux	1	15,6
Linux	2	10,4
Linux	3	9,1
INFINI	1	12
INFINI	2	8
INFINI	3	7

В процессе численных экспериментов исследовалась зависимость времени счета задачи от числа процессоров для Linux-кластера и INFINI кластера.

Как показали численные расчеты, быстрее всего задача считалась на 3-х процессорах. Дальнейшее увеличение количества процессоров не приводило к заметному ускорению процесса счета задачи [4]. Численные эксперименты показали, что в процентном отношении INFINI-кластер работает на 25-30% быстрее Linux-кластера.

Литература

1. Физика океана / под ред. Доронина Ю.А., – Л.: Гидрометеиздат, 1978. – 35 с.
2. Роуч П. Вычислительная гидродинамика. – М.: Мир, 1980. – 101 с.
3. Крукиер Л.А., Муратова Г.В., Никитенко О.Б., Чикин А.Л., Шабас И.Н. “Моделирование гидрофизических процессов в водоемах”// Комплексный мониторинг среды и биоты Азовского бассейна, изд-во Российской академии наук, Апатиты, 2004, том 6, с. 279-298.
4. Муратова Г.В., Никитенко О.Б. Использование высокопроизводительных вычислительных систем для решения задач водной экологии. / Труды Всероссийской научной конференции: “Научный сервис в сети Интернет: технология параллельного программирования”, изд-во Московского университета, г.Новороссийск, 18-23 сентября 2006 г., с. 157-160.