

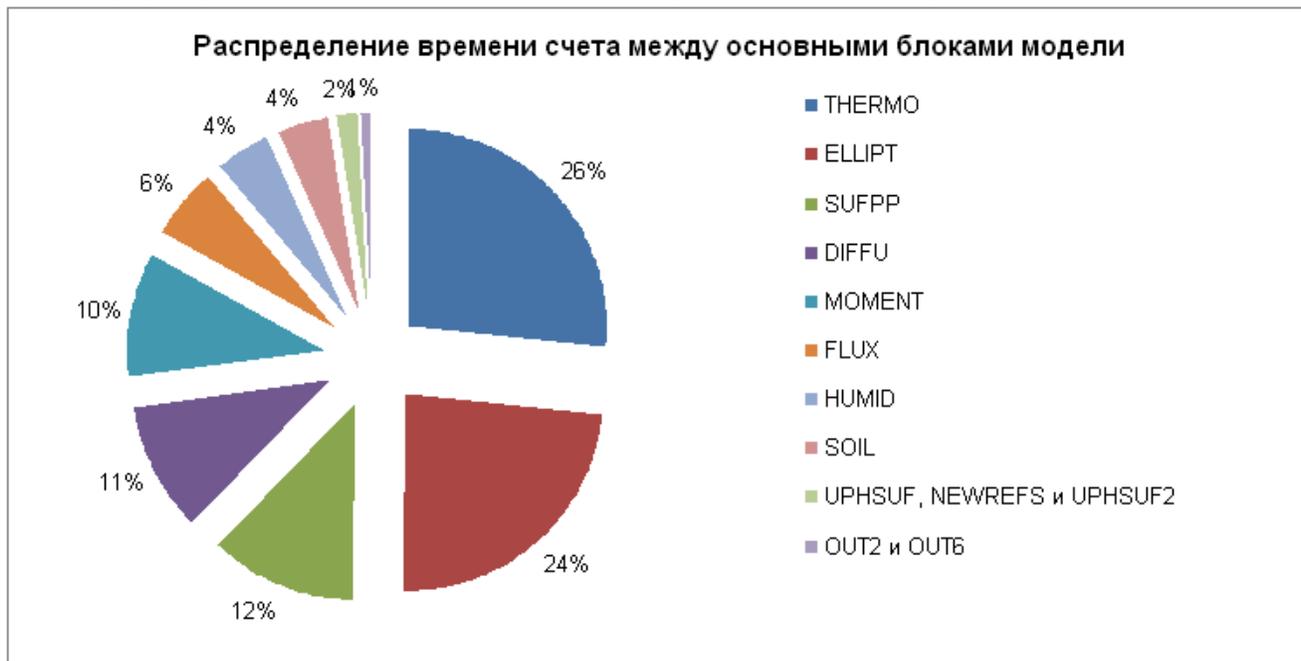
# РЕАЛИЗАЦИЯ МЕЗОМАСШТАБНОЙ АТМОСФЕРНОЙ МОДЕЛИ НА ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ С РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ПАМЯТЬЮ

В. М. Степаненко

Современный этап развития численных моделей атмосферы характеризуется постоянным улучшением пространственного разрешения, а также включением параметризаций все новых физических и химических процессов, происходящих как в самой атмосфере, так и на подстилающей поверхности. При этом количество производимых моделью арифметических операций стремительно возрастает. В конечном итоге одним из необходимых условий решения многих фундаментальных и практических задач в области метеорологии и экологии атмосферы становится эффективная реализация атмосферных моделей на вычислительных системах параллельной архитектуры (в т.ч. с распределенной памятью).

Мезомасштабная атмосферная модель NH3d создана в Университете г. Рединга (Англия) (Miranda, 1989), развивается в настоящее время в Университете г. Лиссабона и в НИВЦ МГУ. Модель основана на полной системе уравнений гидродинамики, записанной в сигма-системе координат. Помимо ключевых атмосферных процессов, в модели представлена термогидродинамика водоемов (Степаненко и Лыкосов, 2005), рассчитывается перенос пассивной примеси. Уравнения атмосферной модели решаются с использованием явной схемы «чехарда», для геопотенциала решается эллиптическое уравнение, аппроксимированное центральными разностями. Алгоритм модели реализован на языках Фортран77 и Фортран90. Объем исходного кода составляет около 35000 строк.

Профилирование модели показывает, что 99,93% времени счета модели приходится на 10 блоков:



Эти блоки реализуют следующие компоненты численного алгоритма модели:

- Подпрограмма ELLIPT – решение эллиптического уравнения
- Подпрограмма THERMO – решение уравнения для температуры
- Подпрограмма SUFPP – решение уравнения неразрывности
- Подпрограмма DIFFU – расчет турбулентной диффузии
- Подпрограмма MOMENT – решение уравнений движения
- Подпрограмма FLUX – вычисление адвективных слагаемых
- Подпрограмма SOIL – модель почвы и водоемов

Для параллельной реализации модели NH3d на компьютерах с распределенной памятью предлагается использовать двумерное (по горизонтальным координатам) разбиение области расчета. В каждой подобласти расчет производится одним процессом. С точки зрения этого подхода подпрограммы модели могут быть разделены на три группы:

- подпрограммы с циклами с независимыми итерациями без предварительного обмена данными: п/п SOIL;
- подпрограммы с циклами с независимыми итерациями с предварительным обменом данными.

К этой группе относятся подпрограммы, реализующие явную схему того или иного уравнения системы – THERMO, SUFPP, MOMENT, HUMID, а также подпрограммы, вычисляющие отдельные члены этих уравнений – DIFFU, FLUX. Предварительный обмен данными заключается в пересылке участков массивов из соседних подобластей, которые необходимы для расчетов в данной подобласти. В алгоритме модели Nh3d требуется пересылать прямоугольные участки шириной 1 и 2 элемента, прилегающие к границам подобласти. После обмена выполняется цикл с независимыми итерациями;

- подпрограмма ELLIPT. В этой подпрограмме производится быстрое преобразование Фурье по горизонтальным координатам, которое требует «знания» глобального горизонтального сечения массивов, что достигается соответствующими пересылками. Коэффициенты Фурье вычисляются методом прогонки по вертикальной координате, что не требует обменов между процессами при одномерной или двумерной (по горизонтали) декомпозиции области.

Часть вычислительных блоков модели распараллелена с применением библиотеки MPI.

Продемонстрировано ускорение работы этих блоков относительно последовательной версии.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. P. M. Miranda. Gravity waves and wave drag in flow past three-dimensional isolated mountains. Phd Thesis, University of Reading, 1990, 191 pp.
2. В. М. Степаненко, В. Н. Лыков. Численное моделирование процессов тепловлагопереноса в системе водоем – грунт. – Метеорология и гидрология, 2005, №3, с. 95-104.