

# ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ КЛАСТЕР МОРСКОГО ГИДРОФИЗИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА НАН УКРАИНЫ

**В.В. Фомин, Д.В. Бородин, В.А. Иванов**

Морской гидрофизический институт  
НАН Украины  
г. Севастополь, ул. Капитанская, 2  
*E-mail: borodin112@gmail.com*

*Дано описание технических характеристик вычислительного кластера Морского гидрофизического института НАН Украины. Приведены результаты тестирования производительности кластера. Обсуждаются вопросы построения высокопродуктивных программных комплексов для решения задач динамики моря.*

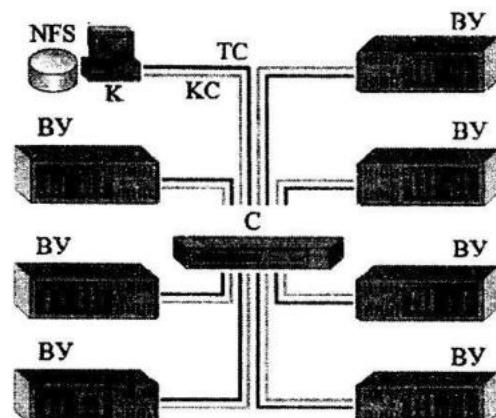
**Введение.** Разработка и использование высокопроизводительных программных комплексов (ВПК) для проведения научных исследований являются приоритетном развитии многих стран, в том числе и Украины, где эти проблемы отнесены к критическим направлениям развития современного общества.

ВПК чаще всего создаются на основе кластерных технологий. Вычислительный кластер (ВК) – это массив серверов (вычислительных узлов), объединенных высокоскоростной локальной сетью. Каждый вычислительный узел имеет несколько многоядерных процессоров, свою оперативную память и работает под управлением своей операционной системы. Наиболее распространенным является использование однородных ВК, в которых все узлы одинаковы по своей архитектуре и производительности.

Обычно параллельные программы на ВК работают в режиме передачи сообщений. В этом случае программа состоит из множества процессов, каждый из которых работает на своем ядре и имеет свое адресное пространство. Обмен данными между процессами происходит с помощью операций приема и передачи сообщений на основе стандарта MPI (Message Passing Interface) [1].

**Технические характеристики вычислительного кластера.** Основа ВК МГИ НАН Украины – массив из 8-ми вычислительных узлов (рис. 1). Для обмена данными между узлами применяет-

ся технология Gigabit Ethernet. В качестве сетевого коммутатора (свитча) используется управляемый 24-хпортовый D-Link DGS-1224T/GE.



**К** – консоль кластера  
**ВУ** – вычислительный узел  
**NFS** – сетевая файловая система  
**TC** – транспортная сеть  
**KC** – коммуникационная MPI-сеть  
**C** – гигабитный свитч

Рис. 1. Схема вычислительного кластера МГИ НАН Украины

На его базе реализованы транспортная и коммуникационная сети ВК. Транспортная сеть обеспечивает файловый обмен между узлами, а коммуникационная сеть – межпроцессорный обмен по стандарту MPI.

Каждый узел ВК имеет: два 4-ядерных процессора Intel Xeon Processor E5440 с тактовой частотой 2833Мгц, частотой шины 1333Мгц и объемом кэша второго уровня 12Мб; 8 Гб оперативной памяти; жесткий диск объемом 500Гб. Защиту электропитания узлов ВК обеспечивают два источника бесперебойного питания UPS APC Smart 3000VA.

Программное обеспечение ВК работает под управлением операционной системы Debian GNU/Linux 5.05 64-bit. Пользователям доступны Intel C/C++ и Intel Fortran версии 11.1 компиляторы. Для межпроцессорного обмена используется релиз OpenMPI 1.4.2. Управление работой пользовательских программ можно осуществлять через менеджер ресурсов Torque 2.5.2.

Каждый узел ВК имеет доступ к общей файловой системе, находящейся на

управляющем узле (консоли) ВК. Общая файловая система реализована на основе протокола NFS (Network File System). Удаленный доступ к ВК организован через консоль по защищенному протоколу SSH.

**Тестирование производительности вычислительного кластера.** Для оценки производительности ВК использовался тест Linpack. Тест решает систему линейных алгебраических уравнений с плотной матрицей методом Гаусса, используя 64-битную арифметику с плавающей точкой, и позволяет судить о производительности системы при решении задач линейной алгебры. Число операций с плавающей точкой в тесте Linpack оценивается по формуле  $L=2 \cdot N^3/3 + 2 \cdot N^2$ , где  $N$  – размерность матрицы. При этом производительность ВК определяется из соотношения  $R=L/t$ , где  $t$  – время работы теста.

Результаты теста Linpack показаны на рис. 2. Как видно, максимальная производительность ВК достигается для матрицы размером  $N = 81800$  и составляет 363,6 Gflops. При дальнейшем увеличении  $N$  происходит снижение производительности. Это обусловлено тем, что задача перестает «помещаться» в оперативной памяти ВК и операционная система начинает использовать свопинг на жесткие диски.

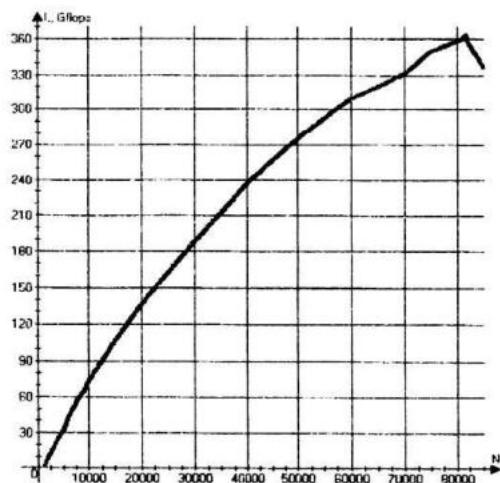


Рис. 2. Зависимость производительности кластера от  $N$

На ВК инсталлирована MPI-версия спектральной волновой модели SWAN [2], которая в настоящее время

используется для моделирования ветрового волнения. Для оценки быстродействия модели были проведены тестовые расчеты ветрового волнения в Азово-Черноморском бассейне с разным числом ядер (CPU). Были выбраны следующие параметры модели: шаг сетки по горизонтали – 5 км; разрешение по угловой координате – 20°; по частотной координате использовалась неравномерная сетка с 25 узлами; шаг интегрирования по времени – 10 мин; время прогноза волнения – 1 сут. Указанные параметры являются характерными при использовании спектральных волновых моделей в оперативном режиме. Как видно из рис. 3, с увеличением количества CPU от 1 до 56 время расчетов волновых полей уменьшается примерно в 15 раз. Таким образом, расчет полей волнения на 1 сутки занимает на ВК около 1 минуты, что на порядок быстрее по сравнению с персональным компьютером средней мощности.

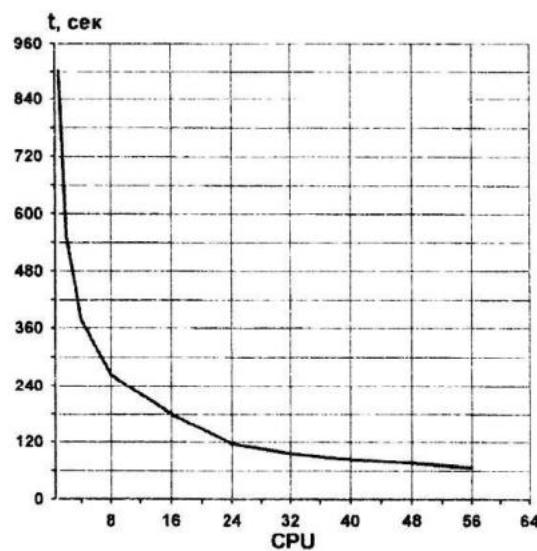


Рис. 3. Зависимость времени расчета волновых полей в Азово-Черноморском бассейне по модели SWAN от количества CPU

**Перспективы использования вычислительного кластера.** В рамках государственной программы развития и использования грид-технологий [3] в МГИ НАН Украины предполагается создание ВПК для моделирования динамических процессов в прибрежных зонах морей на базе ВК. Архитектура ВПК показана на рис. 4.



Р и с. 4. Архитектура ВПК

Математическая основа ВПК – численная модель динамики волн и течений в прибрежной зоне, учитывающая их взаимодействие [4]. В качестве базовых компонент ВПК предполагается использовать MPI-версии следующих численных моделей: sbPOM [5] – для циркуляции вод, WRF [6] – для атмосферы и SWAN – для ветрового волнения.

ВПК будет состоять из 6 основных модулей. Управляющий модуль реализует сценарии расчета динамических процессов, автоматизирует работу всех компонент ВПК и обмен данными между ними. Здесь также сосредоточены процедуры управления интерфейсом пользователя и обменом данными с пользователями через внешний канал или ЛВС.

Модуль «Метеорология» обеспечивает характеристиками приземной атмосферы (скорость и направление ветра, атмосферное давление, температура воздуха) океанологические модули. В модуле «Волнение» проводится расчет спектральных характеристик ветровых волн и волн зыби.

В модуле «Циркуляция» выполняются расчеты 3-хмерных полей скорости течений, уровень моря и характеристики турбулентности. Полученные поля течений и коэффициенты турбулентной диффузии используются в модуле «Трассеры» для определения концентрации различных субстанций, в том числе концентрации взвешенных наносов, которая используется для расчета деформаций дна в модуле «Морфодинамика».

ВПК будет снабжен модулями, обеспечивающими: подготовку и ввод начальных данных; резервирование и архивацию данных, вывод-визуализацию результатов моделирования. На базе ВПК предусматривается создание специализированного архива для хранения расчетных полей, батиметрии, начальных и граничных условий, данных фортинга и реанализ, натурные наблюдения).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антонов А.С. Параллельное программирование с использованием технологии MPI. – М.: Издательство Московского университета, 2004. – 72 с.
2. *Simulation Wave Nearshore*: <http://www.swan.tudelft.nl>.
3. Распоряжение Кабинета Министров Украины № 1421-р от 5 ноября 2008 г. «Об одобрении Концепции Государственной целевой научно-технической программы внедрения и использования грид-технологий на 2009 – 2013 г.
4. Иванов В.А., Фомин В.В. Математическое моделирование динамических процессов в зоне море-суша / Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика», 2008. – 363с.
5. *The Stony Brook Parallel Ocean Model*: <http://imedea.uib-csic.es/users/toni/sbpor>
6. *Weather Research & Forecasting Model*: <http://www.wrf-model.org>.