

## **FLOWVISION HPC: РЕШЕНИЕ БОЛЬШИХ ЗАДАЧ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ГИДРОДИНАМИКИ**

*А.Е.Щеляев, А.А.Аксенов, А.А.Дядькин, В.А.Кутин, И.В.Москалёв, Г.Б.Сушко, С.А.Харченко  
(ООО «ТЕСИС», г.Москва)*

*Моделирование задач вычислительной аэро- и гидродинамики является актуальной проблемой многих отраслей промышленности. Программный комплекс «FlowVision HPC», разрабатываемого в компании «ТЕСИС», широко применяется для моделирования течения жидкости и газа в различных промышленных и природных объектах сложной формы с учетом различных физических явлений.*

*Особенностью программного комплекса «FlowVision HPC» является возможность моделирования сопряженных задач механики – взаимодействия жидкости (газа) с конструкциями и подвижными объектами.*

*Для адекватного воспроизведения тонких физических эффектов в геометрически сложных трехмерных областях требуются подробные расчетные сетки, содержащие от сотен тысяч до десятков и даже сотен миллионов расчетных ячеек. Подобные задачи требуют значительных вычислительных ресурсов и могут быть решены только на самой современной высокопроизводительной вычислительной технике, поддерживающей параллельные вычисления. Качественное моделирование рассматриваемого класса задач требует использования неявных расчетных схем аппроксимации по времени, что существенным образом усложняет разработку параллельной версии, обеспечивающей эффективность использования такой техники.*

*Командой разработчиков программного комплекса «FlowVision HPC» в рамках выполнения совместного проекта с НИВЦ МГУ была проведена адаптация блока решателя под моделирование задач с привлечением большого количества параллельных процессорных ядер (до 128). В данной статье работе описываются начальные данные о решении больших задач на этом компьютере с использованием программного комплекса «FlowVision HPC» и приводятся полученные результаты по масштабируемости решателя.*

**Введение.** Моделирование задач вычислительной аэро- и гидродинамики является актуальной проблемой многих отраслей промышленности. Программный комплекс «FlowVision HPC» [1-4], разрабатываемого в компании «ТЕСИС», широко применяется для моделирования течения жидкости и газа в различных промышленных и природных объектах сложной формы с учетом различных физических явлений.

Особенностью программного комплекса «FlowVision HPC» является возможность моделирования сопряженных задач механики – взаимодействия жидкости (газа) с конструкциями и подвижными объектами. Предлагается моделирование следующих видов взаимодействия:

- недеформируемые конструкции и подвижные объекты. Поддержка данного подхода осуществляется за счет собственных алгоритмов FlowVision HPC;

- деформируемые конструкции и подвижные объекты. Данный подход реализован с помощью связки со сторонним прочностным пакетом, основанным на методе конечных элементов. Реализована полуавтоматическая связка с пакетами ANSYS и NASTRAN, и полностью автоматическая связка с известной системой конечно-элементного анализа ABAQUS[5].

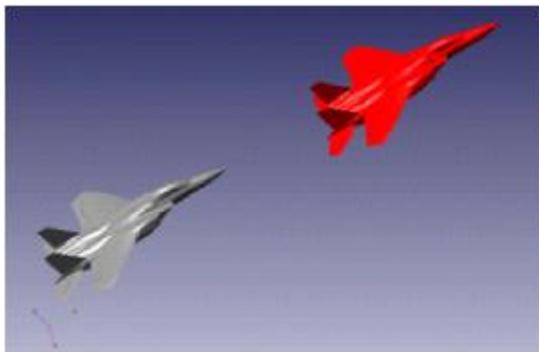
Для адекватного воспроизведения тонких физических эффектов в геометрически сложных трехмерных областях требуются подробные расчетные сетки, содержащие от сотен тысяч до десятков и даже сотен миллионов расчетных ячеек. Подобные задачи требуют значительных вычислительных ресурсов и могут быть решены только на самой современной высокопроизводительной вычислительной технике, поддерживающей параллельные

вычисления. Качественное моделирование рассматриваемого класса задач требует использования неявных расчетных схем аппроксимации по времени, что существенным образом усложняет разработку параллельной версии, обеспечивающей эффективность использования такой техники.

Команде разработчиков программного комплекса “*FlowVision HPC*” в рамках выполнения совместного проекта с НИВЦ МГУ был предоставлен доступ на современный кластер СКИФ МГУ для осуществления отладки и доработки решателя для решения задач с привлечением большого количества параллельных процессорных ядер (до 128). В данной статье работе описываются начальные данные о решении больших задач на этом компьютере с использованием программного комплекса “*FlowVision HPC*”.

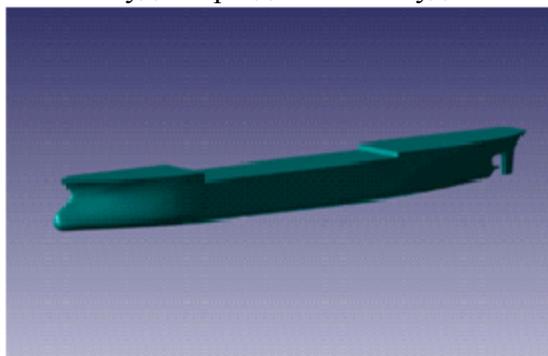
**Тестовые задачи.** Для проведения численных экспериментов были выбраны следующие тестовые задачи:

1. Задача о полете двух истребителей в плотном строю с влиянием вихревой пелены ведущего на ведомого при их движении с дозвуковой скоростью (число Маха 0.75). Истребители расположены симметрично друг за другом, один немного выше другого (Рис. 1). При решении данной задачи требуется определить силы сопротивления воздуха и моменты этих сил, действующие на первый и на второй самолеты. Ожидается, что полет в подобной конфигурации обеспечит повышение суммарной топливной эффективности до 20%.



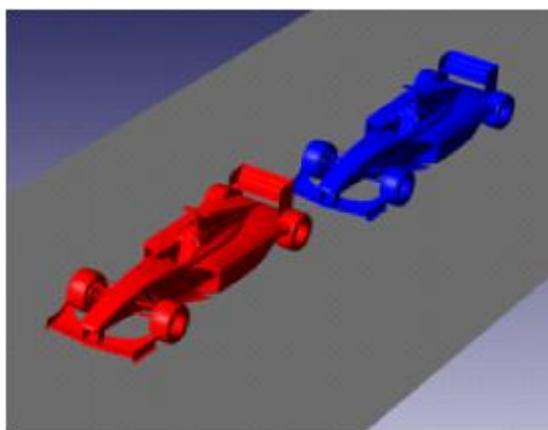
**Рис. 1.** Геометрия задачи о двух истребителях.

2. Задача моделирования движения морского судна (Рис. 2) по воде. Поверхность воды моделируется с использованием модели свободной поверхности. Интерес представляет буксировочное сопротивление судна при движении судна со скоростью 18 узлов.



**Рис. 2.** Геометрия задачи о движении судна.

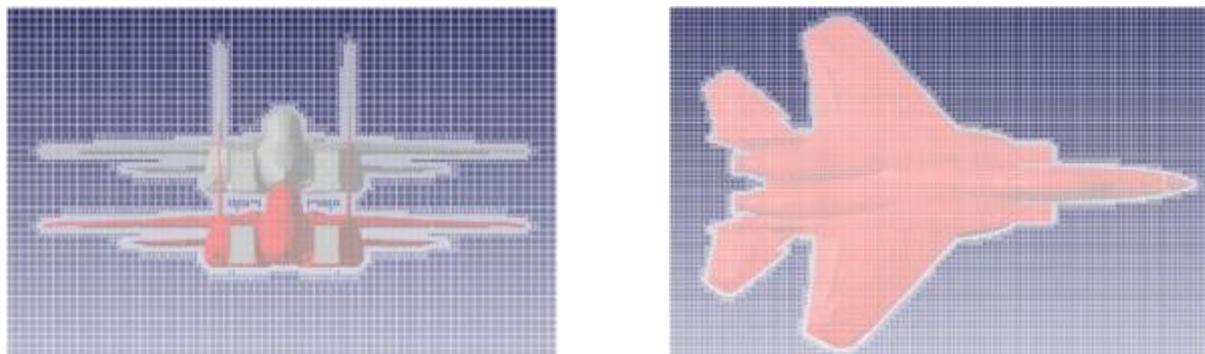
3. Задача об уменьшении силы сопротивления воздуха для второго автомобиля при несимметричном обтекании двух одинаковых спортивных автомобилей, движущихся со скоростью 300 км/ч (Рис. 3). Задача заключается в определении сил сопротивления воздуха и моментов этих сил, действующих на второй автомобиль.



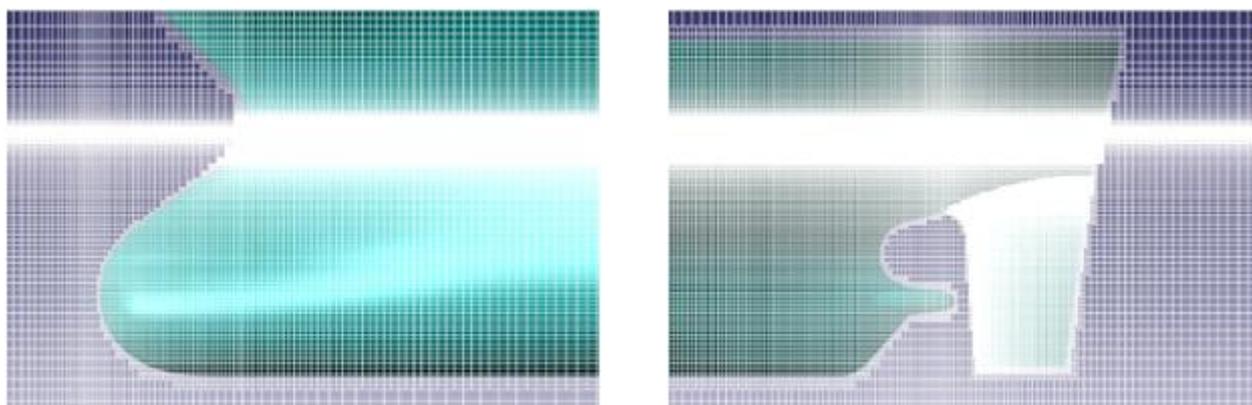
**Рис. 3.** Геометрия задачи о двух автомобилях

Тестовые задачи выбирались из соображений относительной геометрической сложности моделируемых объектов, а также исходя из необходимости для этих задач использования расчетных сеток с большим количеством ячеек для разрешения интересующих тонких гидродинамических эффектов.

**Расчетные сетки и декомпозиция.** Моделирование тестовых задач проводилось на расчетных сетках с адаптацией по объему и к поверхностям объектов. Примеры расчетных сеток для тестовых задач приведены на Рисунках 4-6. Полное число расчетных ячеек в задаче о двух самолетах было равно 6.059.622 ячеек, для задачи о судне – 1.652.023 ячеек, для задачи о двух автомобилях – 3.201.704 ячеек. Декомпозиция расчетной сетки на 16 процессоров для тестовых задач приведена на Рисунках 7-8.



**Рис. 4.** Адаптированная расчетная сетка в задаче о двух самолетах



**Рис. 5.** Адаптированная расчетная сетка в задаче о судне

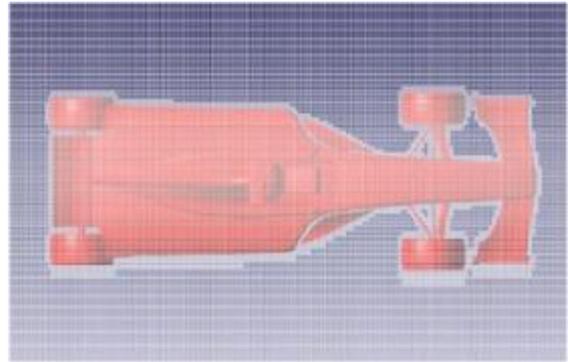
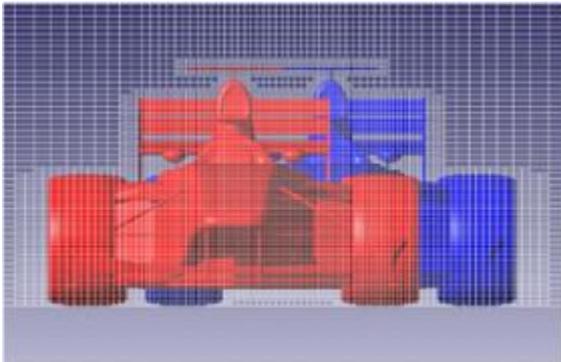


Рис. 6. Адаптированная расчетная сетка в задаче о двух автомобилях

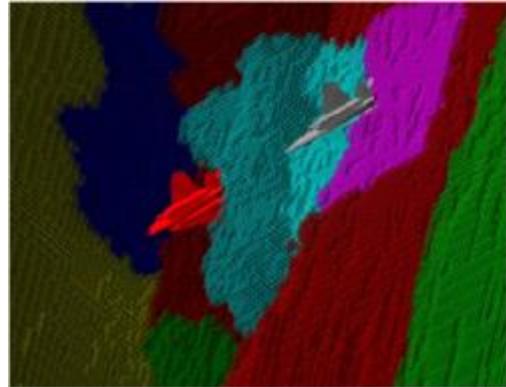
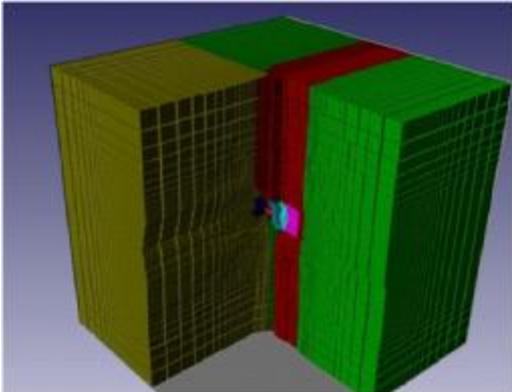


Рис. 7. Декомпозиция расчетной области на 16 процессоров для задачи о двух самолетах

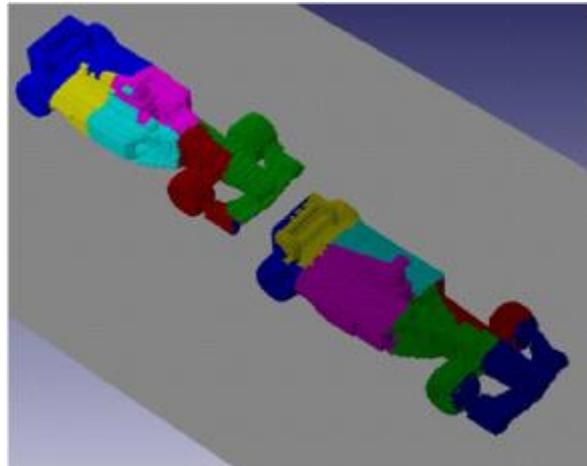
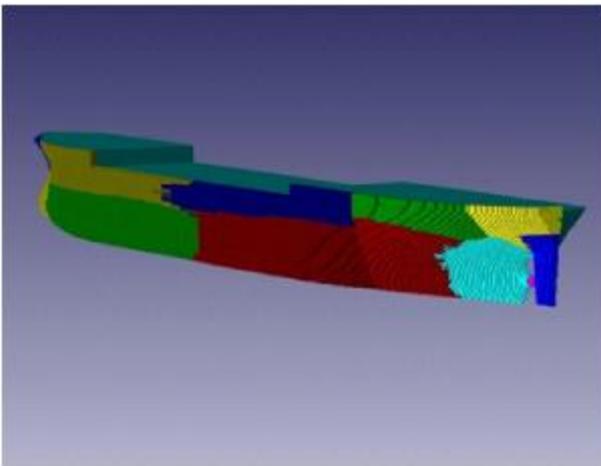


Рис. 8. Декомпозиция приповерхностных ячеек на 16 процессоров для задач о судне и о двух автомобилях

**Результаты.** Результаты численных экспериментов для тестовых задач с точки зрения масштабируемости представлены на Рисунках 9-11. На графиках заметно негативное влияние использования большого числа ядер на узел (больше двух) на масштабируемость параллельных вычислений. Это объясняется недостаточной пропускной способностью шины обмена данными между памятью и процессором для своевременного и быстрого обеспечения всех ядер процессора обрабатываемыми данными.

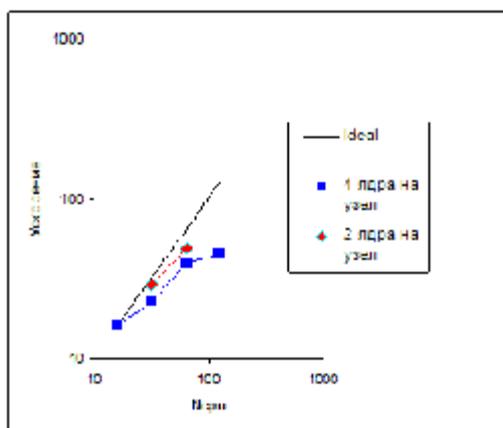


Рис. 9. Ускорение при решении задачи о двух самолетах.

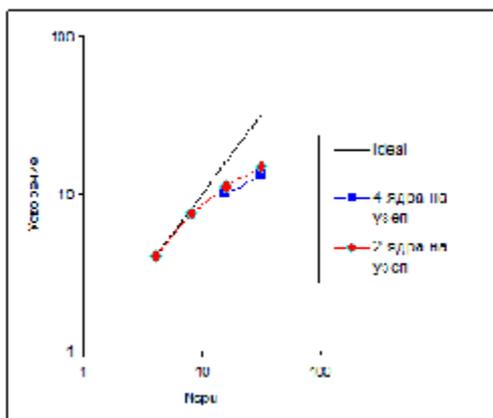


Рис. 10. Ускорение при решении задачи о корабле.

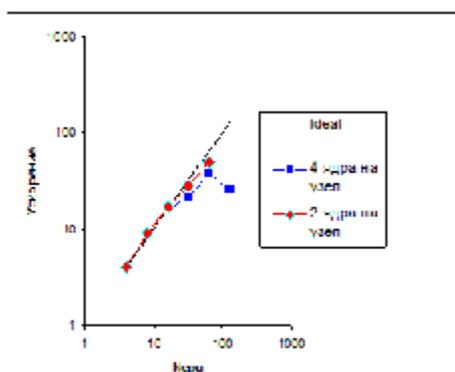


Рис. 10. Ускорение при решении задачи о двух автомобилях

**Заключение.** В отчете представлены начальные результаты использования пакета “*FlowVision HPC*” для моделирования больших промышленных задач аэро- и гидродинамики, полученные на суперкомпьютере СКИФ МГУ. Результаты показывают хорошую масштабируемость программного комплекса “*FlowVision HPC*” с размером сетки до 6 млн. ячеек вплоть до 64 процессоров.

Проведенные на момент написания статьи эксперименты на суперкомпьютере СКИФ МГУ показывают возможность дальнейшего увеличения числа расчетных ячеек сетки и увеличения числа используемых процессоров. Авторы планируют проводить дальнейшие исследования в этом направлении для обеспечения возможности эффективной работы программного комплекса “*FlowVision HPC*” для сеток сверх-большого размера (до 100 млн ячеек) и на сверхбольшом числе процессоров (до 1024 процессоров). Планируется также рассматривать другие классы промышленных задач вычислительной гидродинамики.

## ЛИТЕРАТУРА:

- Aksenov A., Dyadkin A., Pokhilko V., "Overcoming of Barrier between CAD and CFD by Modified Finite Volume Method", Proc 1998 ASME Pressure Vessels and Piping Division Conference, San Diego, ASME PVP-Vol 377-1, 1998.
- Aksenov A.A., Kharchenko S.A., Konshin V.N., Pokhilko V.I., "FlowVision software: numerical simulation of industrial CFD applications on parallel computer systems", Parallel CFD 2003 conference, Book of abstracts, p. 280-284, 2003.
- А.А.Дядькин, С.А.Харченко, "Алгоритмы декомпозиции области и нумерации ячеек с учетом локальных адаптаций расчетной сетки при параллельном решении систем уравнений в пакете FlowVision". Материалы Всероссийской научной конференции "Научный сервис в сети ИНТЕРНЕТ", Новороссийск, 24-29 сентября 2007 г., Изд-во Московского Университета, 2007, с. 201-206.
- С.А.Харченко, "Влияние распараллеливания вычислений с поверхностными межпроцессорными границами на масштабируемость параллельного итерационного алгоритма решения систем линейных уравнений на примере уравнений вычислительной гидродинамики". Труды международной научной конференции Параллельные вычислительные технологии (ПаВТ'2008), Санкт-Петербург, 28 января – 1 февраля 2008 г. Челябинск, Изд. ЮУрГУ, 2008, с.494-499.
- Abaqus User Manual, version 6.8, Providence, 2008.