

Новый релиз программного комплекса вычислительной газогидродинамики FlowVision

Андрей Аксенов

В январе компания ТЕСИС выпустила новый релиз программного комплекса вычислительной гидродинамики (CFD-кода) FlowVision 3.08.05. Команда разработчиков, тестеров и инженеров группы технической поддержки компании ТЕСИС, вместе с пользователями FlowVision готовили этот релиз, скрупулезно настраивая тонкую материю численных методов и физико-математических моделей. Эта работа велась почти год. Несмотря на большой объем работ, связанных с созданием новой версии, FlowVision уже функционировал в режиме опытной эксплуатации, участвуя в различных консалтинговых проектах компании ТЕСИС и в проектах наших пользователей (прежде всего хотелось бы выделить А. Печенюка, компания Digital Marine Technology (далее по тексту Digital Marine), и А. Фирсова, ОИВТ РАН. Например, компания ТЕСИС вместе с компанией Digital Marine участвовала в международном проекте UberCloud HPC Experiment (<http://www.hpcsexperiment.com>), посвященном применению облачных вычислений на суперкомпьютерах. Кратко о результатах этой деятельности будет рассказано в данной статье.

Итак, что принесет очередной релиз инженерам и ученым, использующим FlowVision в своей повседневной работе? Во-первых, это новая схема расчета уравнений Навье — Стокса. Эта схема в 1,5 раза быстрее, чем «стандартная» схема расщепления по физическим переменным, используемая во FlowVision вот уже 10 лет. Новая схема тоже неявная, но позволяет для особо серьезных задач добавить устойчивости за счет внутренних итераций по скорости, давлению и температуре. Вместе с тем, даже одна внутренняя итерация добавила устойчивости расчетной схеме по сравнению со «стандартной». Если ранее сверхзвуковые и гиперзвуковые задачи приходилось решать практически с явным шагом по времени, то сейчас новая схема позволяет проводить расчеты при $M = 25$ с шагом по времени, равным 10 и более явным шагам ($CFL > 10$) — рис. 1. Для инженера это означает простую вещь — его задача будет считаться на порядок быстрее. «Стан-

дартный» метод расчета остался в арсенале FlowVision 3.08.05 (мы его будем поддерживать по крайней мере вплоть до будущей версии 3.09.01).

Модель ламинарно-турбулентного перехода

Другая важная модель, реализованная в новой версии FlowVision, — это модель ламинарно-турбулентного перехода КОЛОКОЛ [1], построенная на базе идей работы [2]. Эта модель позволяет в рамках двухпараметрической модели типа « $k-\epsilon$ » моделировать ламинарное движение газа в пограничном слое на передних кромках крыльев самолетов и воды на носу судна с учетом турбулизации погранслоя на некотором расстоянии ниже по течению. Как показали численные эксперименты, КОЛОКОЛ с большой степенью точности предсказывает точку турбулизации пограничного слоя (рис. 2 и 3). Важно, что эта модель также может предсказывать ламинаризацию погранслоя на про-

филях при наличии набегающей турбулентности среды, — данная особенность модели помогает увеличить точность расчетов обтекания лопаток турбомашин.

UberCloud HPC Experiment

Как уже было сказано, компании ТЕСИС и Digital Marine участвовали во 2-м раунде расчетного эксперимента UberCloud HPC Experiment [4]. Эксперимент проводился

Андрей Аксенов

К.ф.-м.н., технический директор ООО «ТЕСИС».

(и продолжает проводиться до сих пор; теперь идет уже 5-й раунд, и обе компании продолжают участие в нем) для выяснения круга задач, которые могут решаться с применением суперкомпьютеров и для отработки доступа к суперкомпьютерам конечных пользователей (в нашей команде под номером 46 это была Digital Marine). В эксперименте задействовано более 4500 представителей из 31 страны. Во 2-м раунде FlowVision был инсталлирован на суперкомпьютере «Ромашка» (Camomile) в Испании, и компании Digital Marine был предоставлен доступ к использованию этого ресурса. Начало эксперимента было сопряжено с неожиданными сюрпризами, например оказалось, что ядро системы Linux, установленной на «Ромашке», такое

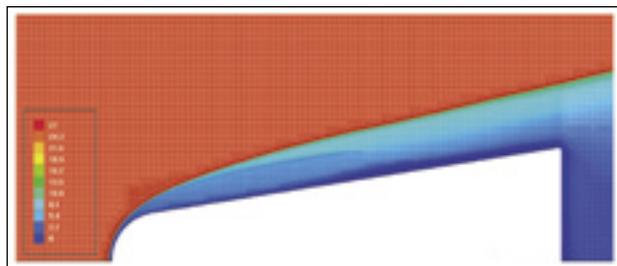


Рис. 1. Распределение числа Маха около затупленного тела при его движении в атмосфере с $M = 25$. Адаптация сетки выполнена по градиенту давления

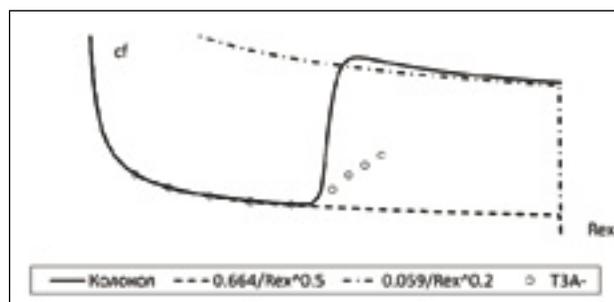


Рис. 2. Распределение коэффициента трения по длине пластины (x/L). Сплошная линия — расчет по модели КОЛОКОЛ, пунктирная — соотношение для ламинарного пограничного слоя, штрих-пунктирная — соотношение для турбулентного пограничного слоя, \circ — тест Т3А(-) [3]

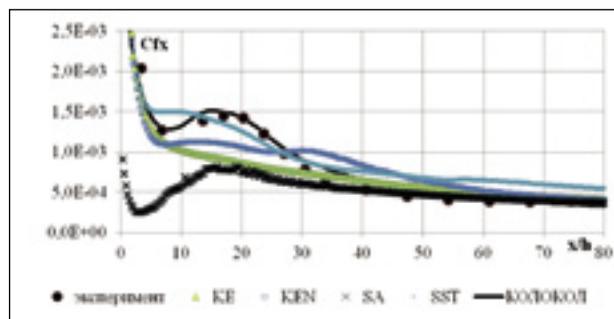


Рис. 3. Коэффициент трения на верхней (плоской) стенке диффузора, расчет по четырем высокорейнольдсовым моделям турбулентности и по низкорейнольдсовой модели КОЛОКОЛ



Рис. 4. Система волн около быстроходного контейнеровоза KRISO



Рис. 5. Система волн около тихоходного грузового судна

древнее, что FlowVision его уже не поддерживает. Несмотря на вечное испанское «тапапа» (сделаем завтра), местные системщики достаточно быстро произвели апдейт ОС суперкомпьютера и мы смогли начать расчеты. Специалисты компании Digital Marine были захвачены открывшимися им горизонтами. Вдруг оказалось, что сложные расчеты судов, для проведения которых требуется просиживать за персоналкой долгие дни, а иногда и недели, могут быть сделаны в течение нескольких часов. Причем появилась возможность не особо экономить на расчетной сетке. На рис. 4-6 показаны результаты этих

расчетов. Видно, что применение достаточно подробной сетки позволяет хорошо моделировать интерференцию волн, генерируемых судном во время движения.

Использование суперкомпьютера позволило Digital Marine получить не только картину волн, но и хорошее совпадение с экспериментом по сопротивлению судна (рис. 6).

Сегодня компания Digital Marine предпочитает работать на суперкомпьютерах. Видно, что незатейливая идея эксперимента UberCloud посадить пользователей на суперкомпьютерную иглу удалась вполне. Но вместе с тем, как было отмечено в эксперименте Uber Cloud,

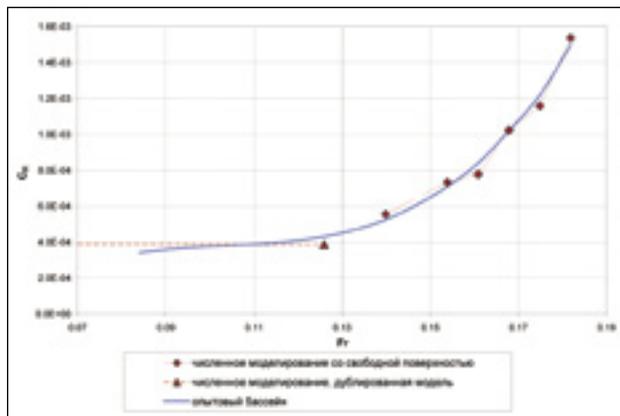


Рис. 6. Тихоходное грузовое судно — зависимость коэффициента остаточного сопротивления от числа Фруда

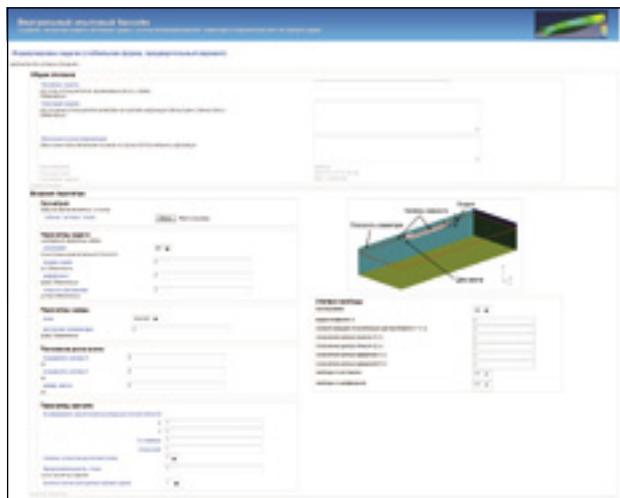


Рис. 7. Интерфейс Виртуального опытового бассейна

доступ пользователей к суперкомпьютеру остается весьма сложной задачей. С целью решения проблемы доступа для инженеров — проектантов судов компания ТЕСИС совместно с НИЦ «Курчатовский институт» и Московским государственным университетом занялась разработкой Виртуального опытового бассейна (ВОБ).

Виртуальный опытовый бассейн

Ядром ВОБ является версия FlowVision 3.08.05, точнее ее решатель FlowVsnion Solver. Пользовательский интерфейс — это веб-приложение, которое позволяет пользователю через Интернет задать все параметры буксировочно-эксперимента для судна (рис. 7). Через веб-портал пользователь

запускает расчеты на удаленном суперкомпьютере (в данном случае это суперкомпьютер НИЦ «Курчатовский институт»). Результаты сделанного суперкомпьютером расчета пользователь может посмотреть в этом же веб-портале, причем в том виде, который интересен инженеру — проектировщику судов (рис. 8 и 9). Например, инженер может узнать не только сопротивление судна, но и среднюю скорость воды в области винта, осадку судна и его дифферент.

Задачи оптимизации аэрогидродинамических форм

Компания ТЕСИС и российская компания «Сигма Технологии» заключили соглашение о взаимном сотрудничестве, результатом кото-

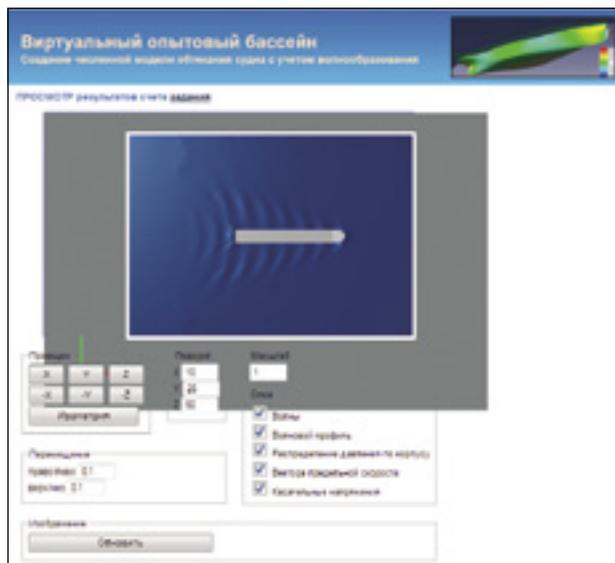


Рис. 8. Визуализация расчетов в Виртуальном опытовом бассейне

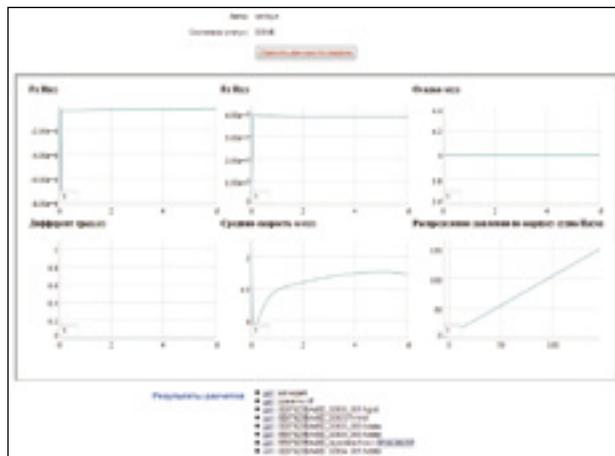


Рис. 9. Зависимость сил, действующих на судно, его осадки и дифферента от модельного времени с начала расчета



Рис. 10. Профиль вертолетного винта и параметры хвостовой пластины

рого стала интеграция FlowVision с платформой инженерных и оптимизационных расчетов и анализа данных IOSO, что позволяет пользователям расширить круг решаемых задач.

Использование программы IOSO и FlowVision дает возможность быстро решать задачи многопараметрической (до ста переменных) многокритериальной оптимизации, в том числе задачи, решение которых представляло значительные трудности ввиду продолжительности и сложности расчетов. Простота интерфейсов программного комплекса IOSO и процедур использования алгоритмов оптимизации позволяет быстро освоить создание сложных расчетных проектов и решение оптимизационных задач инженерам, не имеющим специальной подготовки в области теории оптимизации.

Примером интеграции двухпрограммных комплексов может служить решение задачи определения оптимальных параметров хвостовой пластины вертолетной лопасти (рис. 10). В этой задаче необходимо определить параметры хвостовой пластины (длины и угла отгиба), которые одновременно обеспечивают удовлетворение следующим требованиям:

- максимального аэродинамического качества профиля при $M = 0,6$;
- максимального коэффициента подъемной силы C_y при $M = 0,7$;
- минимального момента M_z при $M = 0,85$ при минимальном коэффициенте подъемной силы C_y ;
- минимального коэффициента сопротивления C_x при $M = 0,9$.

В настоящее время возможности пакета FlowVision 3.08.05 совместно с IOSO позволили автоматически изменять параметры хвостовой пластины без применения САД-системы для перестроения геометрической модели. При этом использовалась расчетная схема, показанная на рис. 11.

Заключение

Новая версия FlowVision третьего поколения (3.08.05) состоялась. Предполагается, что это будет последняя модификация 8-й версии. Программа заметно выросла и по набору физических моделей практически догнала 5-ю версию FlowVision второго поколения (2.05), разработку и поддержку которой мы прекратили несколько лет назад. В версии 3.08.05 программный комплекс FlowVision приобрел совершенно новые, уникальные возможности — это новая схема расчета уравнений Навье — Стокса, новая модель ламинарно-турбулентного перехода, интеграция с оптимизатором IOSO. Весь этот функционал эффективно работает на современных высокопро-

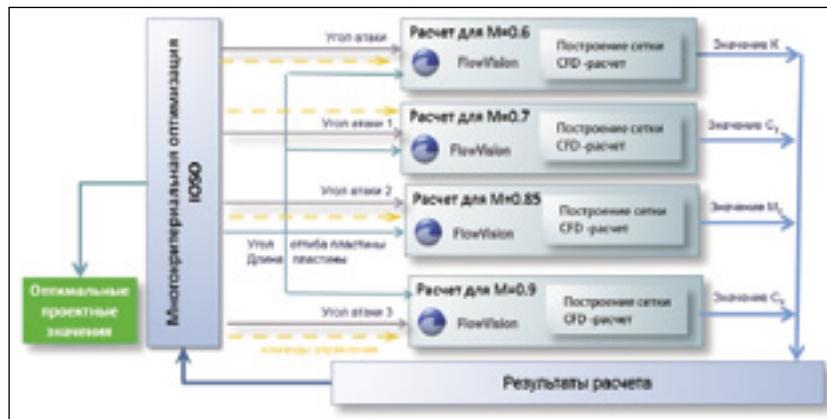


Рис. 11. Схема газодинамических оптимизационных расчетов

изводительных параллельных компьютерах. Однако скоро пользователей FlowVision ждет новый уровень гидродинамических расчетов с новой, 9-й версией FlowVision. В этом году компания ТЕСИС планирует выпустить версию FlowVision 3.09.01, которая сейчас интенсивно разрабатывается. В ней будут скользкие сетки, расчет движения дисперсных фаз (частицы, капли, пузырьки), а также, чего часто не хватало пользователям FlowVision, — разрешение пограничного слоя методом OBL (overlapped boundary layer — наложенная сетка для разрешения пограничного слоя). Сейчас эта версия проходит всестороннее тестирование в лабораториях ТЕСИС, а также принимает боевое крещение в некоторых промышленных организациях. ➤

Литература

1. Аксёнов А.А., Жлуктов С.В., Платов С.А. Численное моделирование ламинарно-турбулентного перехода на корпусе судна в программном комплексе FlowVision // Судостроение. 2013. № 4.
2. Golovnev I., Platov S. The critical analysis of models of turbulence of laminar-turbulent transition and a role of diffusion by pressure fluctuations // 10 Int.Conf. Control, Measurements, Visualisation, August 17-21, pp. 1-11, 2009.
3. Coupland J. T3A Test cases // ERCOFTAC Special Interest Group on Laminar to Turbulent transition and Retransition. 1990.
4. <http://www.hpcuserforum.com/presentations/tuscon2013/UberCloud.pdf>.

ТЕСИС

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ — В ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

3D TransVidia — трансляция и проверка качества 3D моделей

SIMULIA Abaqus — прочность

FlowVision — гидродинамика

DEFORM — обработка металлов давлением

AutoForm — листовая штамповка

www.thesis.com.ru www.flowvision.ru

Тел/Факс: (495) 612 - 4422, 612 - 4262

E-mail: info@thesis.com.ru