

# Отличительные особенности ANSYS CFX 5.6

**Решение задач гидрогазодинамики (CFD) всегда сопровождалось значительными трудностями. С появлением программы ANSYS CFX 5.6 инженеры получили мощный инструмент для решения подобных задач.**

Программа ANSYS CFX 5.6 нашла широкое применение во многих отраслях промышленности. Высокий уровень решения задач гидрогазодинамики, легкость в использовании, открытость и гибкость выводят ANSYS CFX 5.6 в мировые лидеры среди данного класса программ. Эти достоинства программы обеспечиваются единой стратегией и использованием шести технологий подготовки и решения гидрогазодинамических задач, как-то: генерация сетки, точность, надежность, скорость, физика и гибкость. Большинство конкурирующих программ не смогли добиться подобного успеха из-за слабости связей между этими технологиями. Программа ANSYS CFX 5.6 обеспечивает высокий уровень решения задач гидрогазодинамики благодаря уникальной комбинации стратегий в этих шести технологиях.

## Генерация сетки

Сеточный генератор ANSYS CFX 5.6 является одним из самых мощных. В нем доступны четыре типа элементов: гексаэдральные, тетраэдральные, клиновые (призматические) и пирамидальные. Из этих элементов можно построить практически любой тип сетки. Программа ANSYS CFX 5.6 снабжена собственной технологией генерации гибридной сетки с применением смешанных типов элементов, а также автоматизированной адаптацией кривизны ребер и трехмерным обнаружением близости геометрических объектов, граничной ортогональностью и плавными переходами. Лучший CFD-генератор сетки автоматически обрабатывает почти всю геометрию и генерирует пограничные слои. Программа ANSYS CFX 5.6 также поддерживает большое число внешних форма-

тов сетки. При этом с помощью обобщенного сеточного интерфейса (GGI) легко выполняется комбинирование множества типов сетки в одном анализе. Например, гексаэдральная сетка, созданная в модуле ICEM Hexa, может быть присоединена к гибридной неструктурированной сетке, созданной в CFX 5.6. Обобщенный сеточный интерфейс разрабатывался и совершенствовался в течение 12 лет в программе CFX-TASCflow.

На рис. 1 показано полностью автоматизированное соединение сетки разной плотности при использовании GGI-интерфейса.

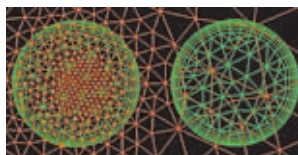


Рис. 1. Соединение сетки разной плотности в CFX 5.6

На рис. 2 изображено трехмерное обнаружение близости геометрических объектов в ANSYS CFX 5.6. Плотность сетки автоматически увеличивается в местах сближения объектов.

Программа ANSYS CFX 5.6 позволяет генерировать сетку из тетраэдральных элементов в параллельном режиме, используя

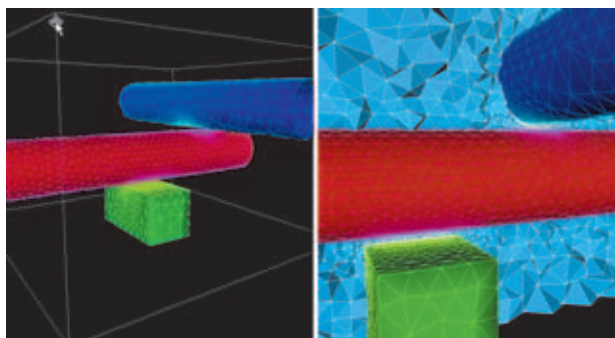


Рис. 2. Обнаружение близости геометрических объектов

память и процессоры других компьютеров, что значительно сокращает сроки создания больших моделей.

В настоящее время разработан и внедрен совершенно новый препроцессор CFX-Pre, обладающий мощным и наглядным современным интерфейсом для формирования сложных CFD-задач. Он дает возможность быстро формировать задачи, быстро и более гибко импортировать сетку из других сеточных генераторов, например из ICEM CFD. Файл с исходными данными и файл результатов могут быть загружены непосредственно в CFX-Pre для быстрого восстановления данных первоначального моделирования. Наглядный интерфейс и древовидная структура обеспечивают быстрый доступ и модификацию любой части задачи. Благодаря сходству и совместимости CFX-Pre и CFX-Post пользователи получают такие удобства, как работа в пакетном режиме и полный доступ к языку CEL. Это позволяет пользователям применять собственные приложения и макросы. Специальная программная оболочка и библиотека моделей дают возможность легко формировать специальный тип задач, например задачи турбомашин.

## Точность

Точность является определяющим параметром в вычислительных процессах. Программа ANSYS CFX 5.6 обеспечивает высокую

точность на узел благодаря нескольким ключевым факторам. Одним из них является дискретизация вычислительной области, основанная на элементах (этот метод работает иначе, чем методы в большинстве других коммерческих CFD-программ), в результате чего достигается высокая точность на узел. В ANSYS CFX 5.6 каждый интеграционный объем на тетраэдральной сетке состоит в среднем из 60 интеграционных точек, гексаэдральная сетка содержит 24 точки на объем. Конкурирующие методы предполагают только четыре интеграционные точки на объем для тетраэдральной сетки и шесть точек для гексаэдральной сетки. Высокая точность на узел ANSYS CFX 5.6 не требует больших вычислительных затрат — наоборот, применяемые в этой программе эффективные методы обеспечивают существенное их сокращение. Например, для решения задачи в ANSYS CFX 5.6 на модели, составленной только из тетраэдральных элементов, требуется лишь пятая часть всех линейных уравнений, необходимых для решения аналогичной задачи одним из конкурирующих методов.

Быстрое и надежное снижение численной ошибки достигается повторным сгущением сетки. Точные решения при минимуме вычислительных затрат обеспечиваются автоматической адаптацией сетки. Программа ANSYS CFX 5.6 уплотняет сетку в определенных местах на основе предварительных результатов решения, что значительно облегчает моделирование ударных волн и других процессов с высокими градиентами.

Численные ошибки обычно возникают в главных транспортных членах адвекции, диффузии и в первоисточниках. Точность решения элементной технологии ANSYS CFX 5.6 достигается за счет более точного вычисления местных градиентов для диффузии и начального разрешения

подрешетки. Поскольку ошибка при вычислении членов адвекции часто является доминирующей, ANSYS CFX 5.6 предлагает схемы адвекции первого и второго порядка. Схема второго порядка является более надежной и точной. Программа ANSYS CFX 5.6 — единственная коммерческая CFD-программа, которая по умолчанию устанавливает дискретизацию второго порядка.

В решениях любой CFD-программы, кроме численных ошибок, содержатся модельные ошибки. Источником большинства модельных ошибок является турбулентная модель. ANSYS CFX 5.6 предлагает более 16 моделей турбулентности. В программе используется новая, основополагающая турбулентная SST-модель передачи касательных напряжений. Эта модель является столь же экономичной, как и k-ε модель, но обеспечивает более высокое качество воспроизведения процессов для широкого ряда потоков и пограничных условий. Для более сложных потоков ANSYS CFX 5.6 предлагает модели полных напряжений Рейнольдса, основанные на ω-уравнении с автоматической функцией стенки. В программе ANSYS CFX 5.6 включена недавно разработанная зональная формулировка DES (модель неприсоединенного вихря), базирующаяся на SST-модели (рис. 3).

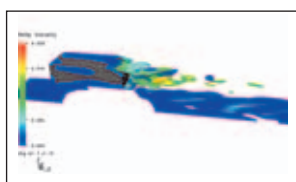


Рис. 3. Расчет потока высокой турбулентности с применением DES-модели

### Надежность

Моделирование в ANSYS CFX 5.6 включает решение системы связанных нелинейных уравнений. Нелинейное решение получается повторяющимся обновлением и решением системы линеаризованных уравнений. Один из лучших способов достичь надежной сходимости — хорошо решить линейные уравнения. Существует много подходов к решению этой проблемы, из которых выделяет-

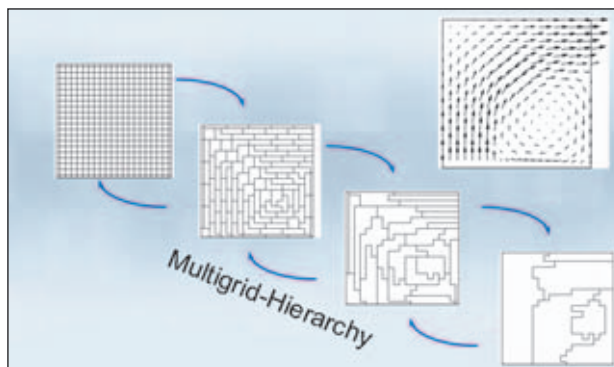


Рис. 4. Примерная схема работы решателя Coupled Multigrid

ся один метод — использование множества смыкающихся вычислительных модулей Coupled Multigrid (рис. 4).

Модуль Coupled Multigrid развивался в течение 20 лет и опробован на решении миллионов задач. Впервые он был внедрен в CFX-TASCflow, а сейчас — и в программу CFX 5.6. Этот линейный решатель ANSYS CFX 5.6 полностью автоматизирован и обладает масштабируемостью (то есть время решения задачи находится в линейной, а не в экспоненциальной зависимости от размеров модели). Решатель ANSYS CFX 5.6 не чувствителен к отношению размеров элементов и менее чувствителен к временным шагам и релаксационным факторам. Он одновременно решает полную систему гидродинамических уравнений многофазных потоков, что обеспечивает устойчивость внутрифазовых связей и сохранение физической адекватности.

Данная методология не только дает высокоточные результаты при решении задач различных классов и обеспечивает быструю сходимость решений, но и является основой для прогрессивной технологии параллельных вычислений. Это означает, что при решении задач от начала и до конца пользователь с меньшими усилиями получит желаемый результат. Технологии Coupled Solvers и Multigrid Solvers, реализованные в других программах, не обладают такими свойствами, как технология Coupled Multigrid, применяемая в программе CFX 5.6.

### Скорость

Обеспечивая проведение параллельных вычислений, программа

CFX дает пользователям возможность решать не ограниченные по размерам и сложности задачи за более короткое время по сравнению с конкурирующими программами.

Параллельные вычисления возможны при любой комбинации однопроцессорных или многопроцессорных компьютеров с операционными системами Windows 2000/NT/XP, Linux, UNIX или в любой их комбинации. Программа CFX автоматически разбивает вычислительную сетку на несколько частей в соответствии с производительностью каждого процессора, при этом каждая часть вычисляется за одинаковое время и с одинаковой сходимостью.

При проведении параллельных вычислений используются память и ресурсы процессоров многих машин, чтобы снизить время расчета при обработке крупногабаритных моделей (рис. 5). При этом все физические модели, детали, режимы и установки работают в CFX параллельно. Программа ANSYS CFX 5.6 позволяет па-

раллельно решать задачи так же легко, как при последовательном вычислении на одиночной машине. Параллельная работа в ANSYS CFX 5.6 возможна также благодаря тому, что параллельные и последовательные вычисления выполняются с одинаковой сходимостью. Легко «запараллелить» код CFD, но гораздо труднее «запараллелить» процесс, сохраняя одинаковую сходимость решения. В версии CFX 5.6. впервые «запараллелен» даже процесс генерации сетки.

### Физика

Физические модели необходимы в любой современной CFD-программе. Достоверность моделирования процесса непосредственно связана с выбором физических моделей. В программе CFX в последние годы наблюдается значительное увеличение количества используемых физических моделей: установившиеся и неустановившиеся модели турбулентности (более 16 шт.), модели систем отсчета (3 шт.), модели перемешивания, многофазные модели (однородные и неоднородные, N-фазные), модели свободной поверхности, модели внутрифазового массообмена (кипение, конденсация и кавитация, модели горения — всего 8 шт.), модели реальной жидкости, модели высокоскоростных потоков, радиационные модели (3 шт.) и т.д. — они взаимодействуют друг с другом в соединении с вышеописанными технологиями.

Моделирование многофазных потоков дополнено моделированием траекторий движения твердых частиц (Lagrangian Particle

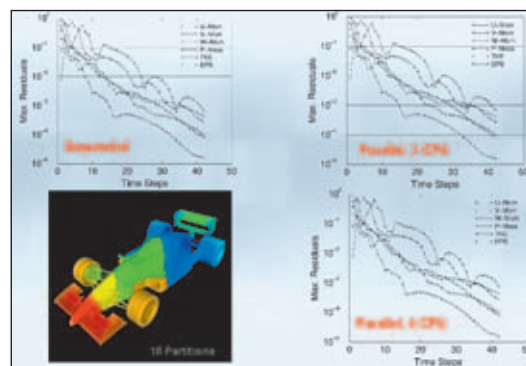


Рис. 5. При проведении параллельных вычислений используются память и ресурсы процессоров разных компьютеров, а одинаковая сходимость решений сохраняется

Tracking). Это позволяет детально контролировать расположение инъекций частиц, распределение их размеров и сил на границах для расчета эрозии. Начальное решение задачи поддерживает инерционное, установившееся движение частиц.

В CFX 5.6 появилась возможность моделировать эйлеровские фазовые изменения (внутрифазовый массообмен), благодаря чему можно моделировать конденсацию, парообразование, кавитацию и кипение (рис. 6).

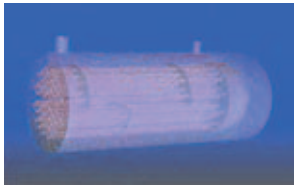


Рис. 6. Кипение охлаждающей жидкости в теплообменнике

Моделирование потоков со свободной поверхностью является еще одним мощным инструментом, реализованным в ANSYS CFX 5.6. Оно основано на выполнении сжатой разностной схемы для получения четких интерфейсов между фазами. Данное приложение обеспечивает моделирование гидродинамики кораб-



Рис. 7. Расчетная модель турбины Пелтона

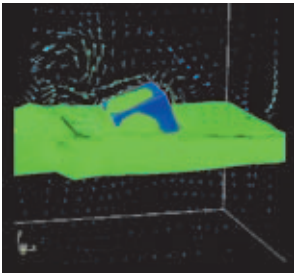


Рис. 8. Анализ процесса всплывания предмета в двухфазной среде

лей, трансмиссий, турбин Пелтона и т.д. (рис. 7 и 8).

В новой версии CFX расширены возможности моделирования радиационного излучения — включены дискретная передача и модель «Монте-Карло». Модель «Монте-Карло» предлагает улучшенные лучевые эффекты, включая преломление, дифракцию и просвечивание, и позволяет полностью моделировать теплопередачу в сложных материалах, таких как стекло и прозрачный пластик.

В CFX 5.6 также включены PDF-модели горения для химической промышленности. Они обеспечивают улучшенный механизм расчета протекания реакций горения и детализируют информацию о частицах в различных ситуациях горения. Имеющаяся модель воспламенения снабжена библиотекой файлов и предназначена для диффузионных процессов в химических реакциях горения. Библиотека файлов имеет тот же формат, что используется в TASCflow, и может быть легко создана в приложении CFX-RIF.

Наряду с улучшенной термодинамикой ANSYS CFX 5.6 поддерживает свойства реальных газов в сухом равновесном состоянии. Они записываются в таблицы данных или могут быть указаны с помощью уравнения состояния и удельной теплоемкости при постоянном давлении. Таблица сохраняется в RGP-файлы, использующие такой же формат, как и TASCflow. В программе ANSYS CFX 5.6 содержатся таблицы для сухого пара R134a и других материалов. Таблицы пара для NIST или IAPWS-IF97 могут быть поставлены пользователю на основе дополнительного соглашения.

**Гибкость**

Высокий уровень решения задач достижим лишь при условии, что система открыта и обладает гибкостью. В программе ANSYS CFX 5.6 это достигается различными способами, например посредством специального языка CEL, программируемого пользовательского интерфейса и возможностью использования «скрипт»-файлов. Пользователь может применять свои исходные файлы, написанные на языке FORTRAN, например, для задания

граничных условий. Препроцессор, решатель и постпроцессор используют однородный, простой структурный язык, а также обеспечивают поддержку языка Perl (Practical Extraction and Report Language). Все функции запускаются интерактивно или в пакетном режиме. В результате ANSYS CFX 5.6 настраивается и внедряется в систему конечного пользователя изящным и надежным способом. Интерактивное взаимодействие с решателем в процессе вычислений обеспечивают контактные окна, позволяющие внедрять функции в различных точках решения. Пользователь может редактировать свойства материала

и базу данных реакций, задавать свои материалы и реакции.

В CFX-Post — современном постпроцессоре ANSYS CFX 5.6 — реализован режим Turbo-Post. Этот новый режим анализа и просмотра результатов спроектирован специально для приложений, относящихся к турбомашинам. Turbo-Post включает новые объекты: Turbo slices (m', theta, span), 3D, Turbo views, специальный вывод результатов для турбомашин и исполняемые макросы. Пользователи CFX-TASCflow теперь могут загружать свои файлы с результатами в CFX-Post. В CFX-Post также добавлена визуализация линий тока в виде труб и лент,

**СОВРЕМЕННЫЕ  
РАСЧЕТНЫЕ  
СИСТЕМЫ**

**ANSYS®**

**Многолетний  
опыт сотрудничества**

**emt**  
ANSYS Center

**ЗАО «ЕМТ Р» —  
авторизованный дистрибьютор  
и инженерный центр компании ANSYS**

- Профессиональный консалтинг по вопросам внедрения систем инженерного анализа.
- Поставка и установка ПО ANSYS.
- Обучение по авторизованным учебным курсам ANSYS.
- Техническое сопровождение и поддержка пользователей.
- Выполнение наукоемких расчетных задач.

111024 Москва, ш. Энтузиастов, 14  
Бизнес-центр «Мета-Дом», оф. К-503  
ЗАО «ЕМТ Р»

www.emt.ru, www.ansys.msk.ru,  
www.ansyssolutions.ru, e-mail: info@emt.ru  
Тел.: (095) 785 05 36. Факс: (095) 785 05 37



улучшена цифровая шкала данных расчета, введены отступ поверхностей просмотра результатов и указание расположения переменных.

Таким образом, высокий уровень решения гидрогазодинамических задач, обеспечиваемый программой CFX благодаря применению единой стратегии и превосходству во всех шести ключевых технологиях (генерация сетки, точность, надежность, скорость, физика и гибкость), позволяет ей лидировать среди других аналогичных программ.

После присоединения к ANSYS, Inc. компаний, разработавших программы CFX и ICEM CFD, стало возможным интерактивное взаимодействие гидрогазодинамического и прочностного анализа. Данные температур и давлений потока, полученные в CFX, легко передаются в ANSYS для дальнейшего прочностного расчета. Более того, появилась возможность одновременно решать задачи гидрогазодинамики, теплообмена и прочности на одной модели с помощью программ

ANSYS и CFX. К концу 2004 года планируется объединение программ ANSYS и CFX под программной оболочкой ANSYS Workbench.

Интеграция компаний CFX и ICEM CFD в ANSYS, Inc. несомненно выгодна для пользователей, так как результатами ее являются:

- улучшение сетевого взаимодействия программ;
- одновременное проведение анализа напряжений и анализа потоков и теплопередачи на одной геометрической модели;

- выполнение оптимизации конструкции на одной геометрической модели;
- применение единого сеточного генератора моделей жидкостного потока и анализа напряжений;
- возможность непосредственно наблюдать взаимодействие жидкости и конструкции CFX ↔ ANSYS;
- легкость в использовании программ и сокращение времени на их освоение. ▶