

Новые решения корпорации MSC Software в области гидрогазовой динамики и теплообмена



При создании новой техники, модернизации существующей, а также в процессе эксплуатации возникает необходимость в решении сложных расчетных инженерных задач. Такие задачи требуют наличия высокотехнологичных и эффективных инструментов, которые должны обеспечивать быстрое и точное, простое в реализации и надежное решение. Однако эти требования очень часто противоречат друг другу: ускорение получения результата зачастую негативно отражается на его точности, а упрощенное взаимодействие с инженерными инструментами при постановке задачи ставит под сомнение его качество и достоверность результатов. Возможность подобных коллизий особенно актуальна в случае моделирования мультифизических процессов.

Задачи вычислительной гидрогазовой динамики с учетом процессов теплообмена (Computational Fluid Dynamics, CFD) – традиционно сложная расчетная область. Трудоемкость и сложность подготовки расчетной модели всегда зависят от особенностей течения, скоростей, тепловых эффектов, а также от наличия подвижных объектов, фазовых переходов, свободных поверхностей и множества других сложных физических процессов, происходящих в исследуемой системе. Часто требуется подготовить модель не просто с качественной расчетной сеткой, а со специальным образом подготовленными зонами в областях высоких градиентов расчетных параметров, пограничных течений и проч. Именно поэтому создание простых и надежных, но в то же время быстрых и точных инженерных инструментов для моделирования CFD-процессов – это крайне сложная задача.

Однако такие инструменты существуют. Это программное обеспечение компании Cradle (Осака, Япония), которая с апреля 2017 года входит в состав корпорации MSC Software (Ньюпорт-Бич, Калифорния, США), уже более 50 лет являющейся одним из мировых лидеров на рынке компьютерных систем моделирования и инженерного анализа.

Программный комплекс scSTREAM

История компании Cradle началась в 1984 году с успешного выхода на рынок инженерного программного обеспечения системы scSTREAM. scSTREAM – это CFD-пакет общего назначения, в основе которого лежит метод конечных объемов со структурированной сет-

кой. При использовании scSTREAM пропадает необходимость проводить подготовку геометрической модели перед построением расчетной сетки. “Очистка геометрии”, которая всегда отнимает львиную долю времени при подготовке инженерной задачи, не требуется. Благодаря методу скошенных ячеек основной недостаток структурированных сеток – “ступенчатость” объектов – нивелируется: геометрия может быть точно воспроизведена расчетной сеткой. Главные достоинства scSTREAM – быстрый и эффективный сеточный генератор и высокая скорость и точность расчетов – наиболее широко раскрываются в задачах гидрогазовой динамики и теплообмена в промышленном и гражданском строительстве, а также в электронике.

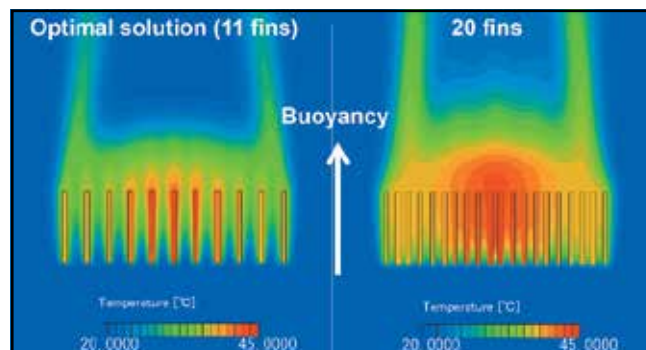


Рис. 1. Оценка оптимального количества ребер у радиатора в scSTREAM. Правило большей площади поверхности радиатора дает отрицательный эффект по теплонагруженности

Современные электронные приборы состоят из большого числа различных компонентов и имеют очень плотную компоновку. В процессе работы они нагреваются, поэтому остро стоит вопрос охлаждения отдельных деталей и отведения избыточного тепла из системы. Расчетная оценка теплонагруженности помогает решать эту проблему (рис. 1). Однако существует ряд особенностей при моделировании подобных задач. Размеры компонентов электронных блоков часто различаются между собой в разы, что вызывает сложности при подготовке расчетной сетки.

scSTREAM с легкостью справляется с такой задачей, так как основа математической модели решателя – это структурированная конечнообъемная сетка, которая строится сеточным генератором даже на самых сложных моделях электронных приборов и печатных плат без спе-

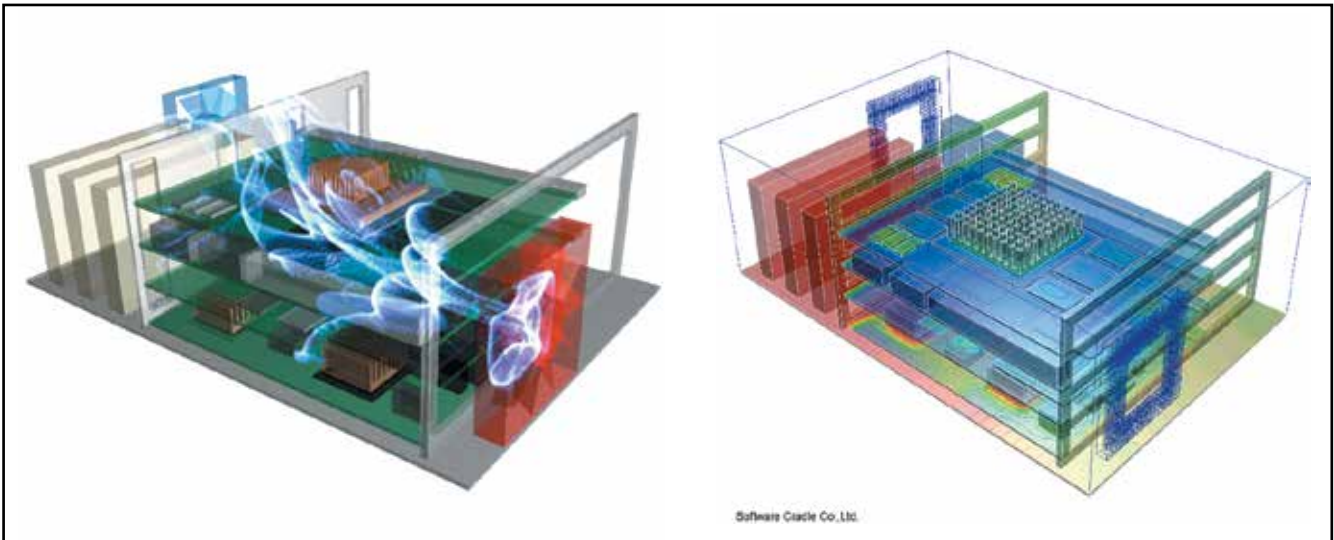


Рис. 2. Оценка эффективности системы охлаждения блока электроники (слева) и распределение температур на комплектующих (справа), рассчитанные в scSTREAM

специальной подготовки исходной геометрии. Кроме того, scSTREAM обладает целым набором типовых элементов для моделирования тепловых процессов в электронике (тепловые трубки, элементы Пельтье, вентиляторы разных типов (осевые, поперечные) с учетом закручивающегося потока, радиаторы и многое другое), что также упрощает и ускоряет процесс подготовки инженерной задачи (рис. 2). Для электронных компонентов в scSTREAM предусмотрен специализированный инструмент, позволяющий быстро создавать модели микросхем с детальной геометрией или упрощенные геометрические модели с точными физическими характеристиками реального аналога. В случае большого количества электронных компонентов их свойства можно задавать в пакетном режиме, используя стандартный CSV-формат. Для всех компонентов за один раз можно назначить такие параметры, как материал, теплоотдача, начальная температура, толщина и другие. Для построения моделей в scSTREAM можно использовать данные в формате GERBER (стандартный формат данных из специализированных программных средств для моделирования печатных плат).

Среди пользователей scSTREAM имеется большое количество производителей электроники – встраиваемой электроники, офисной и бытовой техники, мобильной электроники и т.д.

Модели объектов в задачах промышленного и гражданского строительства могут достигать больших размеров. Отдельно стоящие здания, группы зданий, целые улицы и кварталы реальных или проектируемых районов городов – подобные геометрические модели обладают очень большой размерностью и детализацией. В этом случае построение расчетной сетки – сложнейшая задача, с которой успешно справляется scSTREAM. Круг решаемых задач очень разно-

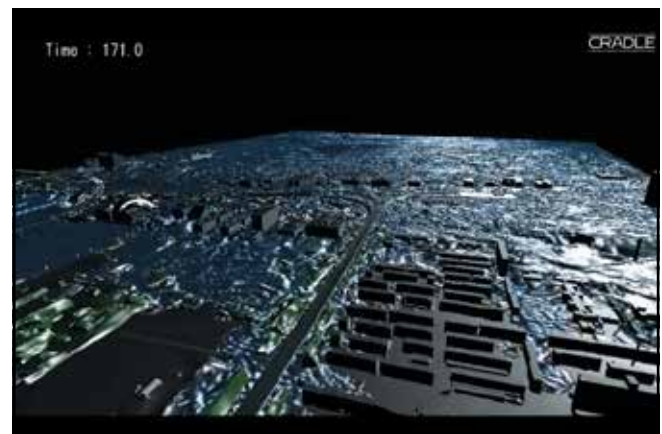


Рис. 3. Моделирование цунами в scSTREAM

образен – от движения воздушных масс в тоннелях метро с учетом перемещения поездов до моделирования цунами в городских условиях. При этом в задачах гидрогазовой динамики может учитываться теплообмен различного типа, подвижные объекты, свободная поверхность жидкости, фазовые превращения и многое другое. Существуют примеры решения задач в scSTREAM сверхбольшой размерности (десятки и сотни миллионов элементов) – например, построение “карты безопасности” для жителей одного из прибрежных городов Японии по результатам моделирования возникновения цунами (рис. 3) или оценка порывов ветра и движение воздушных масс в районе Сибуя, город Токио (рис. 4).

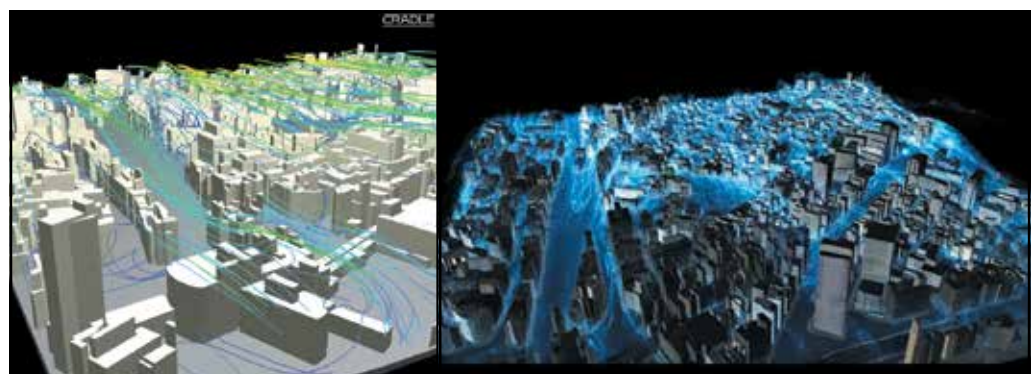


Рис. 4. Моделирование ветра в среде scSTREAM в районе Сибуя, город Токио

Подобные примеры показывают потенциальные сложности, которые могут возникнуть при подготовке расчетных моделей и в процессе расчетов, связанные с наличием множества геометрических моделей зданий, обработка которых в ручном режиме затруднительна, необходимостью учета рельефа местности, особенностей течения и т.д. Более того, часто подобные задачи можно решить лишь математическими методами, так как полномасштабные испытания невозможны, а проведение замеров ряда параметров сопровождается порой непреодолимыми трудностями. Таких примеров можно привести множество – от моделирования систем кондиционирования в проектируемых зданиях и распределения воздушных потоков в строящихся районах до расчета эффекта “теплого острова”. Кроме классических CFD-проблем в scSTREAM есть инструменты для моделирования освещенности от естественных и искусственных источников света, что делает его уникальным программным комплексом.

Программный комплекс SC/Tetra

Для решения более широкого круга гидрогазодинамических задач, в которых детальное представление геометрических объектов является приоритетом, предназначена CFD-система общего назначения SC/Tetra. В ее основе лежит метод конечных объемов с сеткой из полиэдральных элементов. Встроенный расчетный алгоритм позволяет инженеру с помощью SC/Tetra получать высокоточное решение сложных задач в таких областях, как внешняя и внутренняя гидродинамика и аэродинамика, в том числе на сверхзвуковых скоростях; теплообмен, в том числе с учетом фазовых переходов; взаимодействие подвижных объектов в текучей среде; расчет свободной поверхности жидкости; моделирование как ньютоновской, так и неньютоновской жидкости; моделирование процессов конденсации, кристаллизации, отверждения, таяния и плавления, кипения и испарения, распыления, кавитации и многое другое.

Система SC/Tetra появилась в 1998 году как единый программный комплекс, включающий инструменты для подготовки математической модели, проведения расчетов и обработки полученных результатов. Эффективный решатель, основанный на полиэдральной расчетной сетке, позволил SC/Tetra занять лидирующие позиции среди CFD-систем высокого уровня как быстрый, точный и простой в использовании инженерный инструмент. Полиэдральные элементы формируются на основе тетраэдральной сетки с призматическими элементами для пограничных слоев, это происходит внутри решателя в автоматическом режиме. С точки зрения инженера, применяющего SC/Tetra, такой подход привычен и прост при подготовке расчетных моделей. С точки зрения решателя полиэдральный элемент – это гарант высокой точности расчета при относительно низкой размерности расчетной сетки. Таким образом, экономятся силы и время инженера-расчетчика на подготовку моделей, в то же время более эффективно используются мощности вычислительного оборудования. В результате появляется

возможность применять модели с меньшей размерностью по сравнению с современными инженерными инструментами CFD высокого (high end) и тем более низкого (entry level) уровней для получения высокоточных результатов. Это обусловлено главным образом эффективным алгоритмом работы с памятью, что позволяет уместить большее количество элементов на единицу объема оперативной памяти по сравнению с другими CFD-системами (рис. 5).

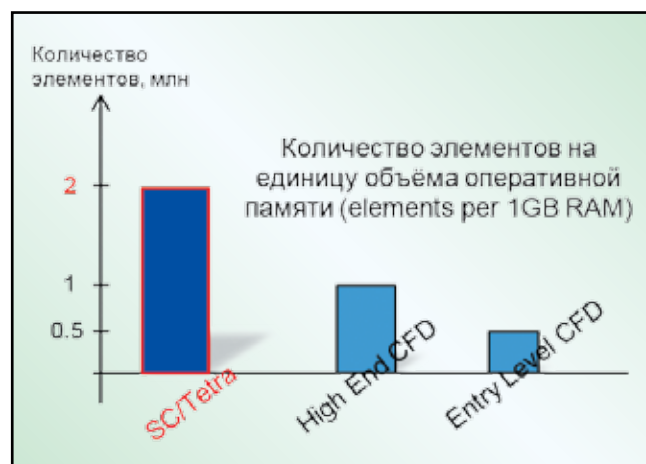


Рис. 5. Эффективность SC/Tetra при работе с памятью

Очень важным преимуществом SC/Tetra является высокая точность расчета. Подтверждение этому – многочисленные верификационные тесты, регулярно проводимые как сотрудниками компании Cradle, так и компаниями-пользователями. Одним из наиболее наглядных верификационных тестов является моделирование кавитации гребного винта – тест Потсдам (Potsdam Propeller Test Case). По результатам сравнения расчета, выполненного в SC/Tetra, с экспериментальными данными сходимость наиболее показательной характеристики винта – коэффициента упора – лежит в пределах 0,67%, что является блестящим результатом. Визуализация процесса кавитации при работе винта показывает высокую сходимость расчетной модели с натурным экспериментом – результаты практически идентичны (рис. 6).

SC/Tetra обладает большим количеством вспомогательных инструментов для повышения эффективности и точности моделирования CFD-проблем. Например, в процессе расчета можно использовать автоматический алгоритм адаптивного измельчения сетки. В этом случае SC/Tetra проводит расчет на грубой сетке, на основании которого определяет зоны высоких градиентов скоростей и давлений. Далее в автоматическом режиме проводится локальное перестроение сетки на более подробную с последующим получением результатов. Подобный итерационный процесс позволяет получить в автоматическом режиме итоговую качественную модель с точным результатом расчета. В ряде случаев такой подход позволяет сэкономить значительную часть времени расчетчика: достаточно построить грубую сетку, а SC/Tetra проведет ряд расчетов для ее адаптации (перестроения) под текущую задачу.

В программной среде SC/Tetra реализован метод поверхностей смешения (Mixing plane method) для по-

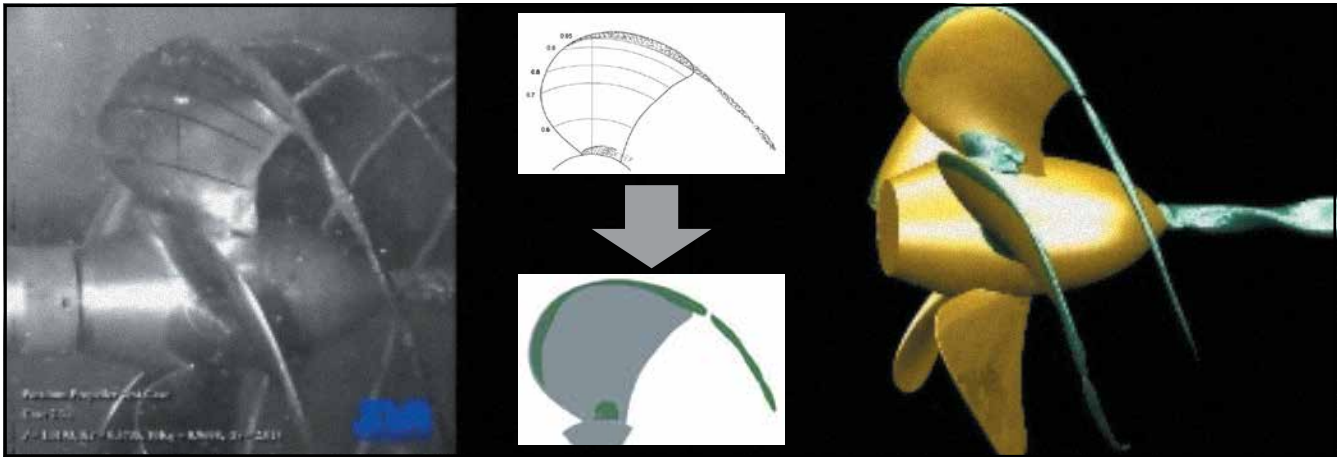


Рис. 6. Тест Потсдам – эксперимент (слева), расчет в SC/Tetra (справа), эскиз области кавитации на основании эксперимента (вверху) и результат расчета кавитации в SC/Tetra (внизу)

строения циклосимметричных моделей роторов, турбин и других вращающихся регулярных конструкций. Метод позволяет проводить расчетную оценку не на целой модели, а лишь на ее секторе с получением высокоточных результатов. Такой подход очень экономичен в вычислительном плане – размерность модели существенно ниже полноразмерной, а скорость получения результатов расчета выше.

При моделировании CFD-процессов в SC/Tetra расчетчику доступны два типа течений: ламинарное и турбулентное. При работе с турбулентными течениями можно воспользоваться двенадцатью моделями турбулентности четырех типов: LES, VLES, RANS, DES. Помимо общепринятых, широко распространенных моделей есть и специализированные, например LKE-модель турбулентности (Laminar Kinetic Energy), которая позволяет определить границу перехода от ламинарного течения к турбулентному.

Для обработки полученных результатов расчета используется единый для scSTREAM и SC/Tetra высокоэффективный постпроцессор с широкими возможностями. Результаты можно визуализировать в графическом или табличном виде, в виде заливки (рис. 7), линий тока, подвижных частиц. Постпроцессор содержит множество инструментов по обработке результатов: комбинирование, отражение, копирование, масштабирование. Результаты в виде заливки расчетных параметров можно отображать на любых плоскостях и сечениях модели, комбинировать разные расчетные случаи или временные шаги для построения наглядных анимаций происходящих процессов, даже с возможностью наложения текстур. Применяя постпроцессор для систем

scSTREAM и SC/Tetra, инженер-расчетчик получает широчайший набор инструментов по обработке результатов и их визуализации, что делает работу максимально эффективной, позволяя увидеть моделируемые процессы и многие физические характеристики этих процессов, которые традиционными способами (в испытаниях) увидеть или измерить проблематично, а порой и вовсе невозможно.

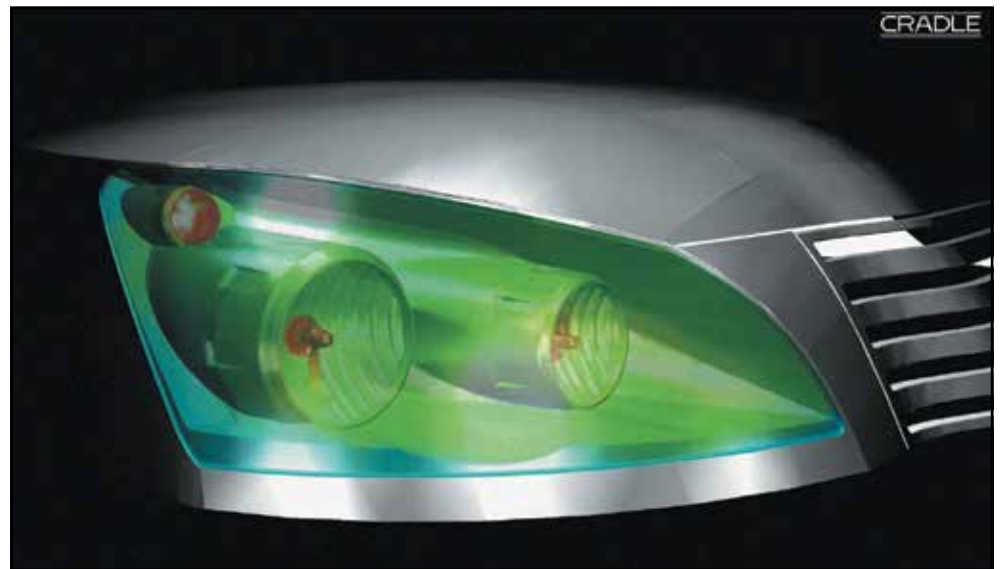


Рис. 7. Теплонагруженность автомобильной фары в SC/Tetra

Программное обеспечение Cradle можно применять не только на расчетных этапах при создании новой техники, но и при поиске ответов на вопросы: “что происходит при отказах?”, “каковы их причины?”, “каковы возможные последствия при нештатной эксплуатации техники?” и т.п. Таким образом, системы scSTREAM и SC/Tetra являются передовыми инженерными инструментами для решения широкого класса задач гидрогазодинамики и теплообмена, применяя которые, инженер-расчетчик получает существенные преимущества при создании передовой техники в условиях жесткой конкуренции и высоких ожиданий заказчиков.

По материалам корпорации MSC Software

Более 50 лет на рынке компьютерных технологий
в области инженерных расчетов



Новые решения корпорации MSC Software

S Cradle – программное обеспечение для решения задач
газодинамики и теплообмена



SC/Tetra: Программный комплекс
для решения задач газодинамики
и теплообмена

Моделирование внешней и
внутренней газодинамики

Подвижные границы и элементы,
свободная поверхность и
многофазность, неньютоновская
жидкость

Кипение, кавитация, плавление,
затвердевание

Полиэдральная расчётная сетка,
адаптивное автоматическое
перестроение, эффективная
работа с памятью и высочайшая
точность решения



scSTREAM: Теплообмен и
газодинамика в архитектуре
и электронике

Теплонагруженность и эффективность
систем охлаждения электронных
приборов и печатных плат

Моделирование течения жидкости и
газа для помещений, отдельных
зданий, улиц и кварталов

Объекты, движущиеся в сплошной
текущей среде – поезда метро в
тоннелях, окраска методом окунания и
другие подобные процессы

Построение расчётной сетки без
предварительной доработки
CAD-геометрии

Высокая точность и скорость расчётов

Simufact Additive

Digimat Additive Manufacturing

Эффективное моделирование процессов 3D печати
деталей из металлов и пластиков

MSC Software это:

виртуальные испытания вместо натуральных | улучшение качества производимой продукции
| экономия времени | снижение производственных затрат

Компания предлагает:

широкий набор вариантов лицензирования | техническую поддержку и сопровождение пользователей
| обучение специалистов | консалтинговые услуги

