

Когда ошибки недопустимы: применение *Femap* в проектировании критически важных конструкций

Alastair Robertson, менеджер по маркетингу продукта Femap, направление Mainstream Engineering (Siemens PLM Software)

Введение

Системы инженерного анализа (CAE) и, в частности, расчет методом конечных элементов (МКЭ) применяются многими производителями для контроля проектных решений до начала изготовления реальных изделий. Это позволяет гарантировать соответствие изделий предъявляемым требованиям и возможность их эксплуатации в суровых условиях работы.

В ряде случаев конструкция должна быть безупречной изначально, с первого образца. Например, если изделие запускается в космос, его невозможно вернуть обратно для устранения неполадок. В таких случаях уже на ранних этапах разработки требуется проведение точного численного моделирования (*simulation*) и сложных видов инженерного анализа.

Проблемы

Тестирование изделий и проектных решений, которые в дальнейшем будут эксплуатироваться в условиях, отличных от обычных, затруднено. Воссоздание подобных экстремальных условий – весьма сложная задача. К тому же, принимая во внимание характер таких проектов, в некоторых случаях всё должно правильно сработать с первого раза: права на ошибку нет.

Для решения этих задач предприятия постоянно ищут возможности разработки всё более легких и эффективных конструкций, при

одновременном снижении себестоимости производства и затрат при эксплуатации.

Численное моделирование воздействия на изделие реальных условий является наилучшим способом достижения результатов. Данная технология позволяет исследовать различные варианты конструкции и материалов для получения оптимального проектного решения, которое гарантированно будет иметь необходимый запас прочности.

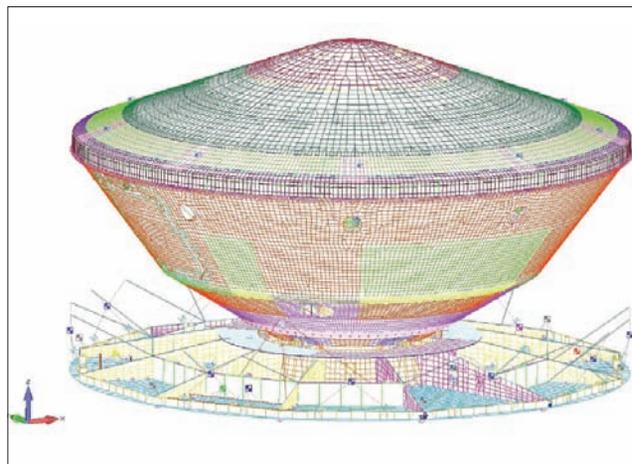
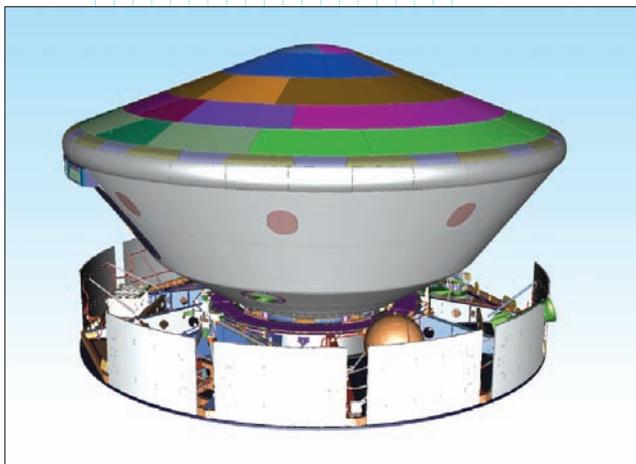
Работа в тяжелых условиях

Проекты машин, работающих в космическом вакууме и при температурах около абсолютного нуля, равно как и при высоких температурах, возникающих от трения при входе в плотные слои атмосферы, или же под громадным давлением на дне океана, требуют самой тщательной проработки и высокой точности исполнения.

Недостаточно по отдельности протестировать конструкцию на воздействие таких нагрузок, как нагрев, трение или давление. Численное моделирование должно полностью воссоздавать реальные условия эксплуатации, причем в различных сочетаниях нагрузок.

Высокая сложность конструкций

Изделия, работающие в таких экстремальных условиях, редко имеют простую конструкцию. Спутники, космические корабли, глубоководные аппараты и научные приборы



CAD- и CAE-модели капсулы с марсоходом

высокого класса – всё это примеры крайне сложных, комплексных изделий. Нередко их компоненты разрабатываются с чистого листа и являются уникальными: это относится и к механической конструкции, и к методам инженерного анализа.

Тысячи отдельных деталей образуют готовое изделие, и каждый элемент должен безотказно функционировать в пределах допустимых отклонений, правильно взаимодействуя с другими.

У таких проектов имеется только одна попытка для успешного запуска, поэтому все детали и узлы каждой системы изделия должны быть самым тщательным образом испытаны, чтобы иметь гарантию, что все приборы и инструменты будут безупречно функционировать в предполагаемых условиях эксплуатации.

Таким образом, инженерам надо лучше понимать, во всех аспектах, режимы нагрузок, воздействующие на столь сложные изделия. Им необходимо средство, позволяющее смоделировать конструкцию, рассчитать её и проверить, произойдет ли разрушение или нет. В частности, важно иметь возможность импортировать геометрию в любом 3D-формате и быстро перейти от виртуального образца к конечно-элементной модели, причем процесс импорта должен стабильно обеспечивать точность и корректность данных. Наличие виртуального макета необходимо для проведения прочностного и теплового анализа.

Комбинируя применение CAE-решателей и других программных инструментов, инженеры могут выполнять численное моделирование, чтобы убедиться, что детали не пересекаются друг с другом и что они не теряют прочность при огромных перепадах температур и сильных вибрациях в обычных и экстремальных условиях эксплуатации.

Новые материалы

В последние годы значительно расширилось применение композитных материалов. Они особенно подходят для изготовления критически важных, созданных на заказ конструкций, когда с целью защиты от агрессивной среды используются весьма экзотические сочетания материалов.

Возможность проведения численного моделирования и оценки определенных свойств композитных деталей является ключевым фактором для успешной реализации важнейших проектов.

Численное моделирование помогает при создании композитов и изделий из них. Более того, благодаря наличию редактора и просмотрщика, становится возможным изменять свойства многослойных структур в интерактивном режиме, создавая и модифицируя слой материала.

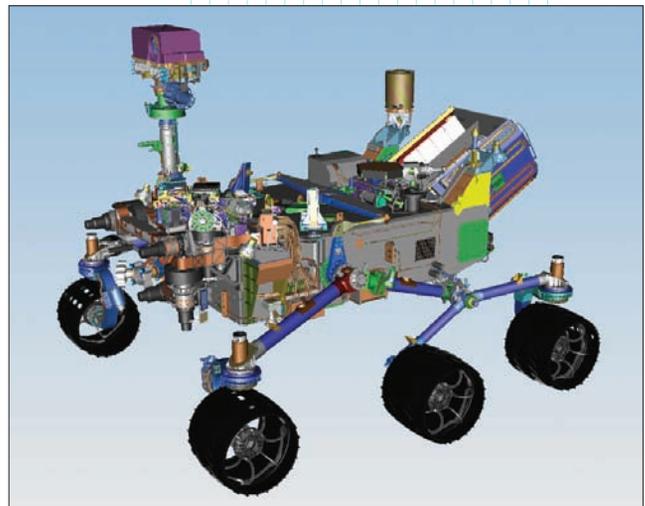
Визуальный подход

При разработке сложных и критически важных конструкций всё более важным аспектом быстрого и эффективного решения расчетных задач становится визуализация результатов. Визуализация помогает выявить места возможного разрушения деталей и оценить поведение изделия при различных давлениях и температурах.

Инженерам становится проще понимать математические результаты выполненных решателем расчетов, их визуализация в системе *Femap* точно отображает, что происходит с конструкцией. Таким образом, визуализация – ключевое преимущество в ходе постпроцессирования (то есть обработки результатов расчетов).

Визуализация позволяет просматривать и истолковывать полученные данные, в том числе – контурные и критериальные графики, анимированные представления деформаций, частотные характеристики, а также настраиваемые плоскости сечений и изоповерхности.

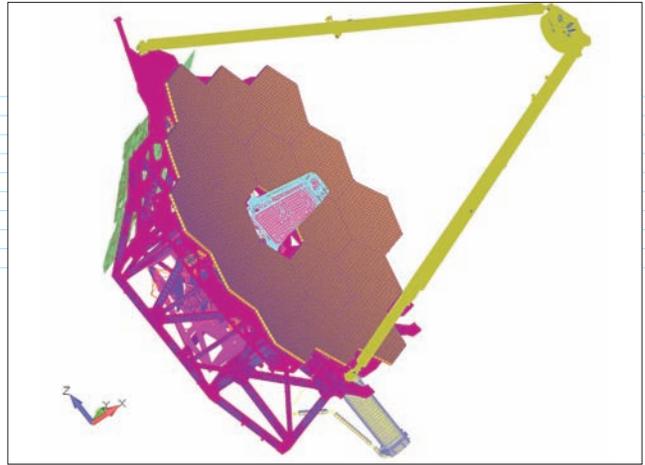
С помощью мощных и удобных средств визуализации инженеры могут наблюдать и



CAD- и CAE-модели марсохода



Полная САЕ-модель космического телескопа им. Джеймса Уэбба



САЕ-модель рефлектора космического телескопа им. Джеймса Уэбба

интерпретировать результаты, что облегчает понимание поведения модели. Чтобы повысить эффективность в случае работы со сложными изделиями, требуются и такие возможности, как моделирование стержневых конструкций и продвинутое средства формирования конечно-элементных сеток.

Визуализация является ключевым аспектом при расчете стержневых конструкций. Пользователи просматривают элементы такой конструкции в виде твердотельных моделей, оценивают смещения, графики сдвига и изгибающего момента.

Параллельные вычисления

С учетом высокой сложности не только самого изделия, но и внешних условий, и вероятных режимов его эксплуатации, инженерный анализ должен проводиться для как можно большего числа вариантов исходных данных. Кроме того, расчет должен выполняться в жесткие сроки.

Эффективная параллельная обработка данных обеспечивает исключительно быстрый расчет конечно-элементной модели на многоядерных и многопроцессорных системах.

Параллельные вычисления могут на 30% сократить сроки расчета по сравнению с использованием однопроцессорных систем.

Заключение

Конечно-элементный анализ важнейших деталей и узлов на ранних этапах проектирования и при внесении конструкторских изменений гарантирует, что изделия будет соответствовать предъявляемым требованиям в плане деформаций, напряжений, вибраций и температур даже в наихудших условиях эксплуатации. Это резко повышает общее качество любого изделия и особенно важно в тех случаях, когда ошибки недопустимы.

Результаты расчетов выявляют критически нагруженные места при деформирующих нагрузках и вибрациях, а также менее ответственные зоны, где можно снять лишний материал. Это позволяет уменьшить число изготавливаемых опытных образцов и сократить расходы, не снижая качества работ по проекту.

В частности, система *Femap*, разработанная компанией *Siemens PLM Software*, обеспечивает виртуальное моделирование деталей, узлов и целых систем с целью выявления соответствия их поведения в заданном пространстве граничных условий. Эта система обычно применяется в процессе проектирования для сокращения расходов на изготовление и испытание опытных образцов, для оценки различных вариантов конструкций и материалов, а также оптимизации по критериям прочности и минимизации массы.

В критически важных проектах система *Femap* применяется в качестве пре- и постпроцессора. Она строит конечно-элементную сетку по САД-модели, а после расчетов выполняет визуализацию результатов и состояния конструкции под различными нагрузками.

Система работает со всеми видами композитных и многослойных материалов, а также поддерживает моделирование стержневых конструкций и формирование конечно-элементных сеток. Кроме того, в *Femap* имеются мощные средства визуализации.

Если речь идет о запуске космического телескопа, посадке на Марс или исследованиях океанского дна, цена ошибки оказывается огромной. Наличие автоматизированных и настраиваемых процессов численного моделирования гарантирует полную работоспособность конструкции согласно задуманному плану. Коротко говоря, в тех случаях, когда требуется безупречность, применение системы *Femap* гарантирует успех критически важных проектов. 🍷