



В. Шелюфаст, д. т. н., проф., генеральный директор, Е. Стайнова, к. ф.-м. н., коммерческий директор, НТЦ АИМ

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИСТЕМ ИНЖЕНЕРНОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ПРОЕКТИРОВАНИЯ

В настоящий момент уже очевидно, что российская промышленность способна увеличить долю на внутреннем и внешнем рынках только в том случае, если предприятиям удастся повысить качество выпускаемой продукции. Понятие «качество продукции» очень емкое, но главное — успех на рынке во многом зависит от уровня технических решений, которые принимаются на этапе создания продукции, и от их всестороннего инженерного анализа.

Инженерный анализ — это достаточно широкое понятие, которое включает весь комплекс необходимых вычислений для получения информации по прочности, жесткости, долговечности и

устойчивости конструкций, по расчету частот собственных колебаний и по определению динамических характеристик создаваемого оборудования в условиях действия вынуждающих силовых факторов. Кроме того, в инженерной практике приходится также решать тепловые задачи, проблемы термоупругости, пластичности, течения жидкости и газа. Сюда можно также отнести и множество специализированных локальных проблем. Но в этой статье речь пойдет об универсальных инженерных задачах и об их месте в производстве машин, механизмов и конструкций широкого назначения, а также о программных средствах их решения.

Ясно, что все вышеперечисленные инженерные задачи направлены на создание равнопрочных конструкций, имеющих минимальный вес, минимальные энергетические потребности и, как следствие — минимальные начальную стоимость и эксплуатационные затраты.

Сейчас на рынке невозможно найти известную марку, при разработке которой не использовались бы системы инженерного анализа, методы оптимизации и другие инструментальные средства, без которых невозможно создать современное и конкурентоспособное оборудование.

В России процесс использования инструментов инженерного анализа

(Computer Aided Engineering — CAE) явно затянулся, и сейчас он только в начальной стадии своего развития. Причин, объясняющих такое отставание, несколько, но главной, на наш взгляд, является нехватка на российском рынке профессионального отечественного программного обеспечения соответствующего направления.

Зарубежные CAE-системы, имеющиеся на российском рынке (а это хорошо известные и давно успешно зарекомендовавшие себя системы конечноэлементного (КЭ) анализа NASTRAN, ANSYS, COSMOS, MARC, а также системы для описания кинематики и динамики больших перемещений, такие как ADAMS и др.) не локализованы и достаточно дороги, что, несомненно, является существенным препятствием для их продвижения на нашем рынке.

Говоря о высокой стоимости, следует отметить, что для программных продуктов такого уровня она вполне оправдана, т. к. разработка программного обеспечения в области CAE-анализа является довольно затратным мероприятием. Такие системы наукоемки и требуют от разработчика знаний и навыков не только в области программирования, но и математического моделирования, численных методов, теории упругости, динамики, теплопередачи и т.п.

Рассмотрим систему КЭ-анализа APM Structure3D, разработанную российской компанией НТЦ АПМ. APM Structure3D является составной частью отечественного программного продукта, хорошо известного на рынке как APM WinMachine.

Система КЭ-анализа APM Structure3D продается на рынке САПР и эффективно используется в машиностроении и строительстве. Это стало возможным за счет русскоязычного интерфейса и сопровождающих документов, а также благодаря существенному снижению стоимости по отношению к западным аналогам. По количеству решаемых задач пакет несколько уступает западным системам, однако те возможности, которыми обладает APM Structure3D, в большинстве случаев достаточны, а по соотношению цена — качество это интересное предложение на рынке.

ВОЗМОЖНОСТИ СИСТЕМ ИНЖЕНЕРНОГО АНАЛИЗА

Возможности, предоставляемые системами инженерного анализа, можно оценить на примере модуля APM Structure3D.

Модуль APM Structure3D позволяет рассчитать:

- величины напряжений и деформаций в любой точке конструкции с учетом как внешнего нагружения, так и собственного веса каждого из элементов;

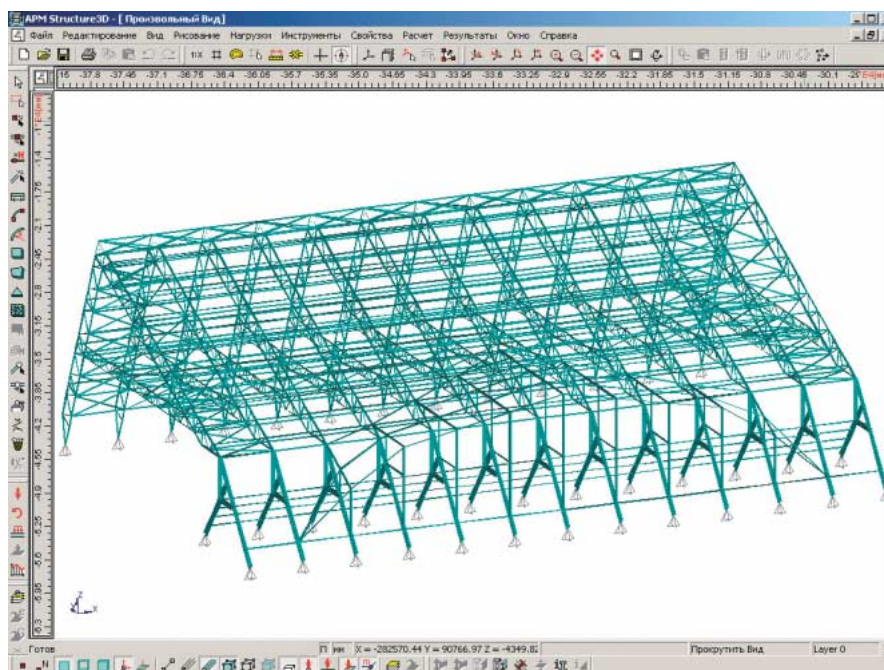


Рис. 1. Модель несущей конструкции спортивного комплекса в г. Нижневартовске

- запас устойчивости конструкции при ее сжатии и формы потери устойчивости;
- собственные формы и значения частот колебаний, а также соответствующие этим формам резонансные частоты;
- параметры вынужденных колебаний при произвольном изменении внешних силовых факторов;
- температурные поля и термонапряжения.

Задачи решаются как в линейной, так и в нелинейной постановках. Под нели-

нейной постановкой понимается учет геометрической и физической нелинейности.

В следующей версии системы APM Structure3D, выход которой запланирован на середину мая текущего года, планируется ввести в коммерческую эксплуатацию модуль расчета кинематики, динамики и кинестатики механизмов и упругих тел. Это программный продукт, по тематике решаемых задач близкий к системе ADAMS.

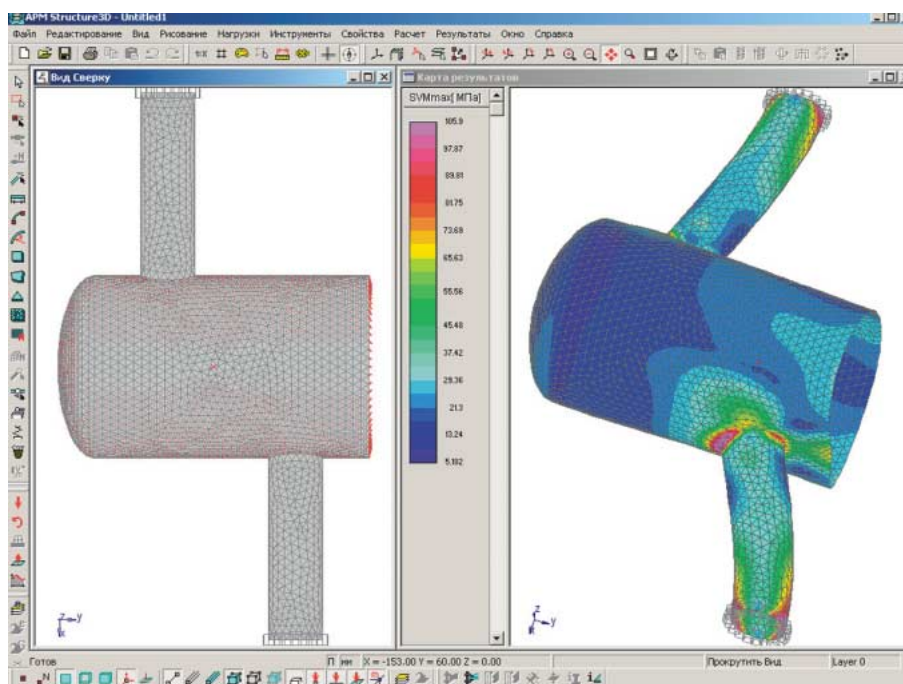


Рис. 2. Результаты расчета напряженно-деформированного состояния оболочечной модели участка трубопровода высокого давления

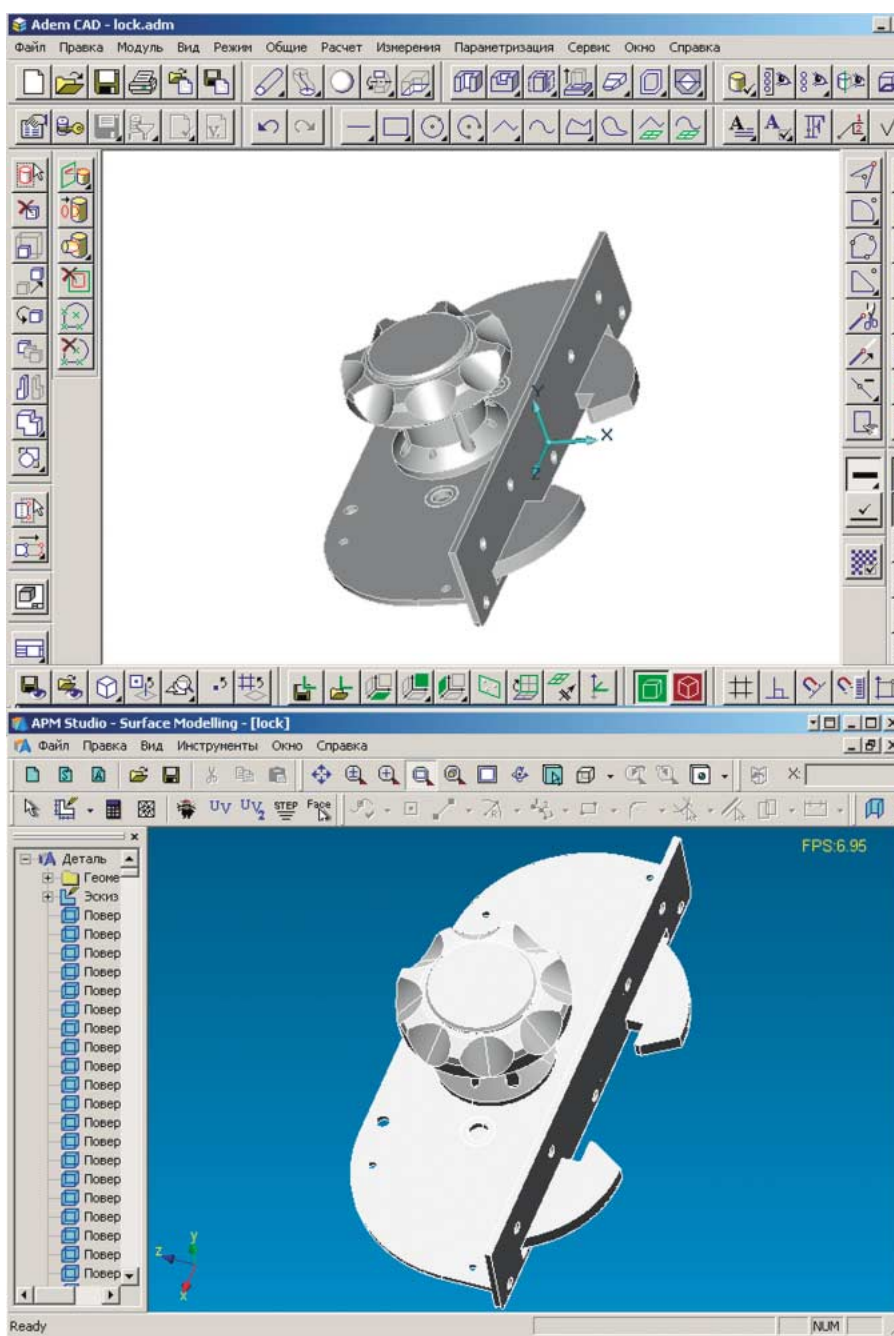


Рис. 3. Пример передачи с использованием формата STEP трехмерной модели из AdemCAD в модуль APM Studio

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБЪЕКТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объекты для КЭ-анализа обычно представляются в виде стержней произвольного поперечного сечения, пластин и оболочек, а также в виде твердотельных моделей и их произвольных комбинаций. Это позволяет рассчитать все многообразие строительных и машиностроительных конструкций и их элементов. В качестве примера стержневой модели приведем строительную конструкцию, изображенную на рис.1. Оболочечная модель и ее напряженно-деформированное состояние (НДС) при известном нагружении представлены на рис. 2.

Твердотельную модель можно подготовить как в модуле APM Structure3D с использованием встроенных в него внутренних функций, так и с помощью редактора трехмерного моделирования APM Studio. Можно также воспользоваться процедурой импорта трехмерных моделей, созданных сторонними средствами, посредством формата обмена STEP. На рис. 3 приведен пример технологии, когда модель готовится в APM Studio.

МЕТОДЫ РАСЧЕТА

При выполнении всего комплекса необходимых инженерных вычислений в APM Structure3D используется метод конеч-

ных элементов (МКЭ). При необходимости применяются также и другие методы строительной механики, адекватные поставленным выше задачам. Число конечных элементов для разбиения сечений стержней (и, следовательно, длительность времени расчета) устанавливается пользователем. По умолчанию в системе заданы настройки, характерные для большинства расчетных случаев. Однако общее количество конечных элементов ограничено исключительно возможностями имеющейся компьютерной техники.

Для создания твердотельных и оболочечных элементов в модуле APM Studio имеется специализированный генератор автоматического разбиения на конечные элементы, с помощью которого также можно задать условия закрепления и нагружения. Стержни также разбиваются на конечные элементы в автоматическом режиме с использованием встроенного генератора разбиения. При этом создаваемая КЭ-сетка, в зависимости от топологии модели, может быть равномерной либо адаптивной, когда размер конечного элемента определяется геометрией детали. В местах большой кривизны размерность конечного элемента уменьшается автоматически. Пример адаптивного КЭ-разбиения модели на конечные элементы изображен на рис. 4.

После построения КЭ-сетки необходимо решить систему уравнений, которые формируются в результате КЭ-анализа. Методы решения этих уравнений могут быть различными. В настоящей версии системы реализовано два из них, однако это не предел. Критерием применимости того или иного метода может быть только корректность полученных с его помощью результатов расчета. Возникает резонный вопрос: насколько корректны полученные в APM Structure3D результаты вычислений? Для проверки правильности выполнения многочисленных расчетных процедур на этапе создания программного продукта разработчики постоянно выполняли параллельные вычисления, как аналитические, так и численные. Численные вычисления проводились в таких известных CAE-пакетах, как, например, NASTRAN и ANSYS. Сейчас мы готовы утверждать, что результаты расчета в APM Structure3D полностью согласуются с результатами, которые дают известные зарубежные аналоги.

СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЙ ИНТЕРФЕЙС

Для эффективной реализации расчетных и графических процедур в модуле APM Structure3D имеется современный интерфейс специализированного назначения. Следует заметить, что от организации работы интерфейса зависит время, затраченное пользователем на подготовку модели.

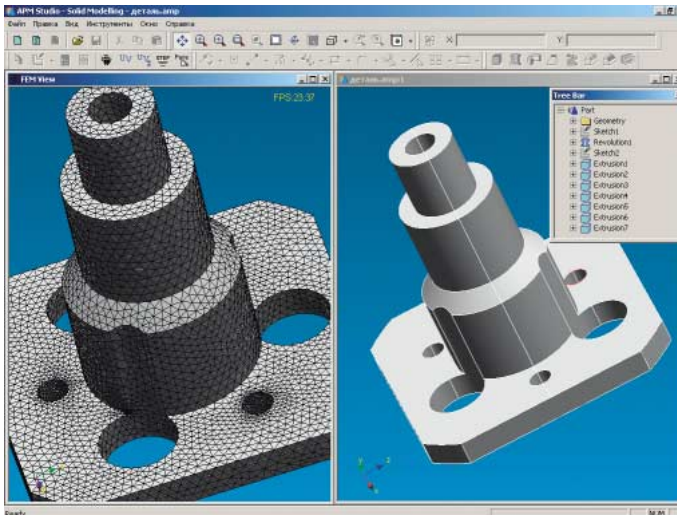


Рис. 4. Результат работы автоматического генератора КЭ-сетки в режиме адаптивного разбиения

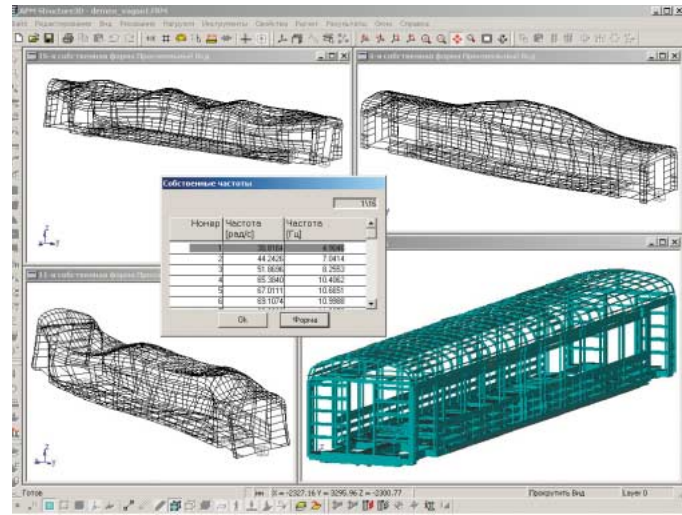


Рис. 5. Расчет собственных частот модели вагона электропоезда Демидовского машиностроительного завода

Специализированный интерфейс, о котором идет речь, включает:

- графический редактор задания конструкций как комбинаций из стержней, пластин и твердотельных элементов;
- визуализатор пространственного представления модели;
- редактор задания плоских сечений стержневых элементов;
- редактор задания нагрузок, условий закрепления и механических характеристик составляющих конструкции элементов;
- визуализатор результатов расчета.

К элементам конструкции могут быть приложены следующие виды силовых факторов:

- сосредоточенные сила и момент;
- распределенные нагрузки по длине стержня;
- нагрузки, вызванные смещением опор;
- нормальная распределенная сила, действующая на пластину;
- ветровые и снеговые нагрузки, действующие на пластины, а также сейсмические нагрузки (в соответствии со СНиП);
- температурное воздействие на любые элементы конструкции.

Реализована возможность работы с различными загрузками конструкции и их комбинациями, что очень важно при проектировании строительных конструкций. В модуле имеется библиотека стандартных профилей и базы данных по материалам и их характеристикам. В специализированном редакторе сечений имеется возможность задания произвольных нестандартных сечений (включая и многосвязные), а также редактирование существующих.

Интерфейс постпроцессора включает следующие визуализаторы:

- напряженно-деформированного состояния модели;
- распределения напряжений в любом текущем сечении любого стержневого элемента;

- силовых факторов и деформаций (линейных и угловых) в узловых точках;
- графиков функций, описывающих законы моментов изгиба и кручения, напряжений и деформаций, поперечных сил и т.п. по длине любого из входящих в состав конструкции стержней;
- распределения тепловых полей.

Подчеркнем, что по выбору пользователя результат расчета напряжений можно получать как в форме эквивалентного напряжения, так и в виде его осевых компонентов. То же самое касается и деформаций: как результат расчета пользователь может вывести и результирующие деформации, и их со-

ставляющие по различным осям координат.

Весь спектр описанных выше возможностей, предоставляемых модулем APM Structure3D, позволяет улучшить качество проектирования механического оборудования и конструкций и сократить сроки их проектирования, а также значительно снизить вес создаваемого оборудования и уменьшить его стоимость. С использованием этого модуля можно проектировать конструкции, близкие к равнопрочным по критериям прочности, жесткости и вибрационной активности, и, следовательно, всегда наилучшим образом отвечающие требованиям заказчика.

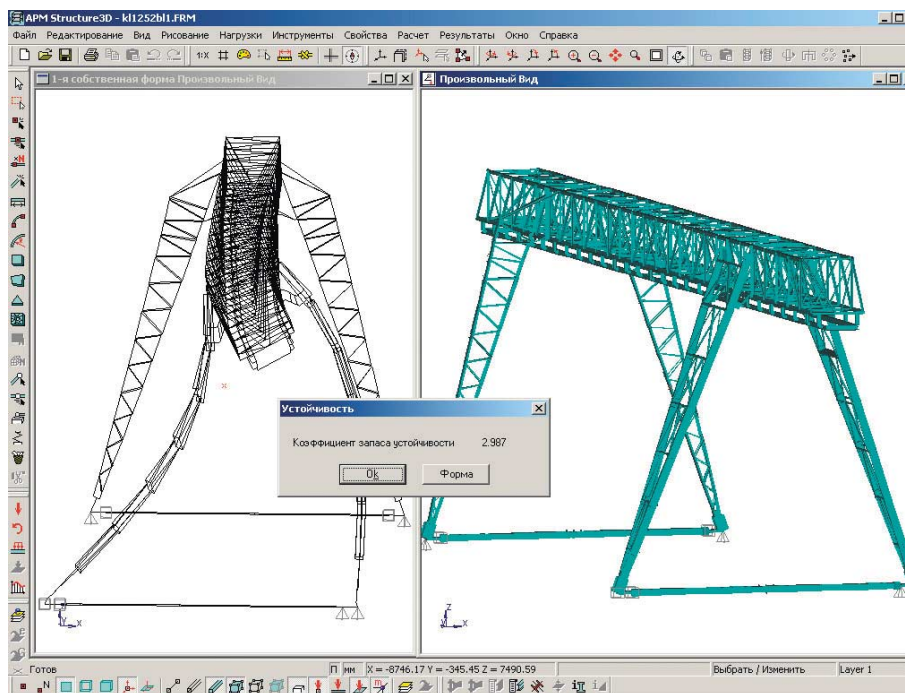


Рис. 6. Результат расчет устойчивости модели козлового крана, спроектированного в ООО «Научно-производственная фирма по проектированию и реконструкции кранов», г. Узловая, Тульская обл.