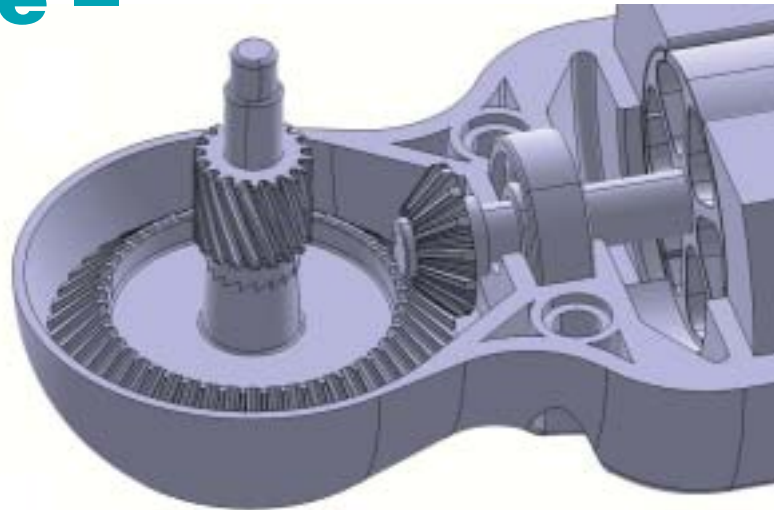


Программный комплекс APM WinMachine –

ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СОВРЕМЕННЫХ МАШИН, МЕХАНИЗМОВ И КОНСТРУКЦИЙ



Введение

Научно-технический центр "Автоматизированное Проектирование Машин" (НТЦ АПМ) специализируется на создании программного обеспечения для сквозной конструкторско-технологической подготовки производства в области машиностроения и строительства (CAD/CAE/CAM/PDM).

Базовым программным продуктом Центра является система автоматизированного проектирования и технологической подготовки производства – комплекс APM WinMachine. В его состав включены графические средства для создания плоских чертежей и трехмерных моделей, оформления конструкторской документации, полный комплекс инженерных расчетов, инструменты конечно-элементного анализа, средства создания и оформления технологических процессов, модули документооборота и администрирования, а также различные базы данных (конструкторские, технологические, строительные, библиотеки материалов и т.д.).

Специалисты компании разработали не имеющие мировых аналогов методы расчета неидеальных элементов машин, которые наиболее адекватно моделируют реальные элементы.

НТЦ АПМ производит поставку и установку своих программных продуктов, обучает будущих пользователей в собственном учебном центре и

на территории предприятий, адаптирует и дорабатывает поставляемые программы под требования заказчика. Специалисты Центра осуществляют гарантийное и послегарантийное техническое сопровождение поставляемого программного обеспечения в режиме заочных консультаций, а при необходимости и с выездом на предприятие.

Издательство НТЦ АПМ выпускает учебно-методическую литературу (монографии, пособия, мультимедийные приложения), призванную помочь пользователю максимально быстро и эффективно овладеть навыками работы с APM WinMachine.

Более чем двенадцатилетний опыт успешной работы на рынке IT-технологий, сотни пользователей, число которых возрастает год от года, причем не только в России, – все это говорит о стратегически верном пути развития компании и ее программных продуктов.

Потребности рынка и возможности современных систем компьютерного проектирования

Сегодня уже никому не нужно доказывать, что российская промышленность увеличит свою долю на внутреннем и внешнем рынках только в том случае, если предприятия смогут повысить качество выпускаемой продукции. В свою очередь уровень качества (а значит и успех на рынке) напрямую зависит от уровня

технических решений, принятых на этапе создания продукции, и от их всестороннего инженерного анализа.

Несколько слов о том, что следует понимать под инженерным анализом. Это достаточно широкое понятие включает весь комплекс необходимых вычислений для получения информации по прочности, жесткости, долговечности и устойчивости конструкций, по расчету частот собственных колебаний и определению динамических характеристик создаваемого оборудования в условиях действия вынуждающих силовых факторов. Кроме того, в инженерной практике приходится решать тепловые задачи, проблемы термоупругости, пластичности, течения жидкости и газа, множество специализированных локальных проблем. Мы же поговорим сегодня об универсальных инженерных задачах и об их месте в производстве машин, механизмов и конструкций широкого назначения, а также о соответствующих программных средствах.

Очевидно, что все перечисленные инженерные задачи решаются для того, чтобы были созданы равнопрочные конструкции, имеющие минимальный вес, минимальные энергетические потребности и, как следствие, – минимальные начальную стоимость и эксплуатационные затраты. Сегодня уже не найти ни одной известной марки, при разработке которой не использовались бы системы инженерного анализа, методы

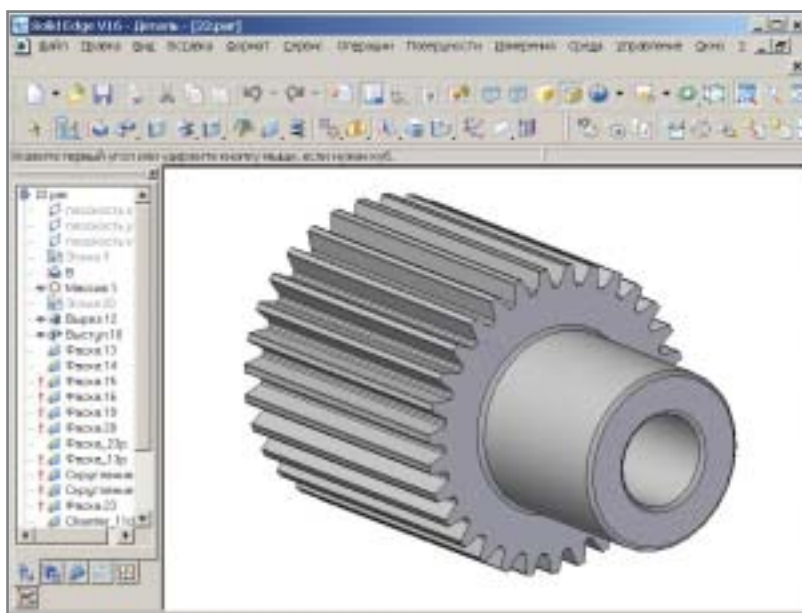


Рис. 1. Твёрдотельная модель шестерни, автоматически сгенерированная в редакторе Solid Edge по результатам проекторочного расчёта модуля APM Trans (проектирование механических передач вращения)

оптимизации и другие инструментальные средства, без которых невозможно создать современное и конкурентоспособное оборудование.

В России процесс освоения инструментов инженерного анализа (CAE) явно затянулся: он и сейчас пребывает в начальной стадии. Причин, объясняющих такое отставание, несколько, но главной, на наш взгляд, является почти полное отсутствие на отечественном рынке профессионального отечественного программного обеспечения подобного направления.

Немногочисленные зарубежные CAE-системы, известные российскому пользователю (а это хорошо

зарекомендовавшие себя системы конечно-элементного (КЭ) анализа MSC.Nastran, ANSYS, COSMOS, MSC.Marc, а также системы для описания кинематики и динамики больших перемещений: MSC.Adams и ряд других), не локализованы и довольно 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 оправданна, поскольку разработка программного обеспечения в области CAE-анализа является довольно затратным мероприятием. Такие системы наукоемки и требуют от разработ-

чика знаний и навыков не только в сфере программирования, но и в области математического моделирования, численных методов, теории упругости, динамики, теплопередачи и т.п.

Несмотря на все трудности, связанные с организацией таких работ, российской компании НТЦ АПМ удалось создать конкурентоспособную систему автоматизированного проектирования APM WinMachine.

Система APM WinMachine — наукоемкий программный продукт, созданный на базе современных инженерных методик проектирования, численных методов механики, математики и моделирования, гармонично сочетающий опыт поколений конструкторов, инженеров-механиков и других специалистов с возможностями компьютерной техники и технологии.

- Система APM WinMachine реализована по модульному принципу. Каждый модуль может работать как отдельно, так и в составе определенного комплекса, что позволяет пользователю выбрать оптимальный вариант поставки программного продукта.
- Простота работы с APM WinMachine позволяет существенно повысить производительность труда конструкторских отделов и без ущерба для предприятия снизить требования к квалификации сотрудников, работающих с системой.
- Адаптация и доработка поставляемых программ под требования заказчика, обучение работе с поставляемым программным обеспечением, а также постоянная

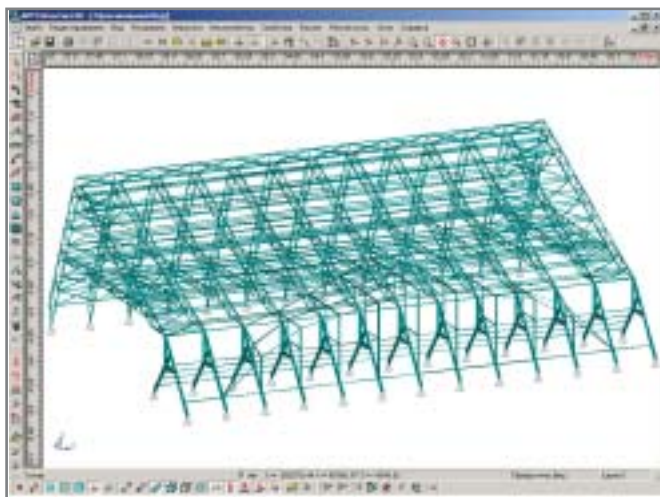


Рис. 2. Модель несущей конструкции спортивного комплекса в Нижневартковске

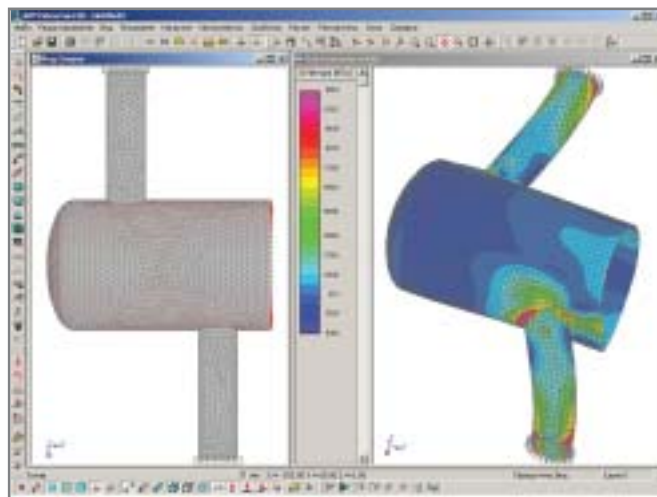


Рис. 3. Результаты расчета напряженно-деформированного состояния оболочечной модели участка трубопровода высокого давления

техническая поддержка пользователей и предоставление им специализированных материалов по работе с системой позволяют вывести процесс взаимодействия "разработчик — пользователь" на качественно новый уровень.

- Возможности интеграции со сторонними программными продуктами (через обменные форматы) позволяют использовать для получения расчетных моделей ранее созданную графическую информацию, что существенно сокращает временные затраты в процессе проектирования.

Возможности инструментального обеспечения позволяют решать обширный круг прикладных задач:

- проектировать механическое оборудование и его элементы с использованием инженерных методик, а также автоматически генерировать детализованные чертежи и 3D-модели стандартных изделий (рис. 1);
- выполнять анализ напряженно-деформированного состояния (с использованием метода конечных элементов) трехмерных объектов любой сложности при произвольном закреплении, статическом или динамическом нагружении (рис. 2-3, 5-7);
- создавать конструкторскую документацию в соответствии с ЕСКД;
- использовать при проектировании поставляемые базы данных стандартных изделий и материалов, а также создавать собственные базы под конкретные направления деятельности предприятия.

Если говорить более предметно, то часть модулей рассматриваемого программного продукта предназначена для проектирования деталей машин (механических передач вращения, валов и осей, подшипников качения и скольжения, упругих элементов машин), а также всевозможных видов их соединений (болтовых, заклепочных, сварных, шпоночных, шлицевых и т.д.). Другая часть ориентирована на прочностной (статический и динамический) анализ конструкций. Все расчетные модули имеют необходимые связи с графическими компонентами системы APM WinMachine, а также с базами данных стандартных элементов и материалов.

Далее мы расскажем о применении систем конечно-элементного анализа как наиболее актуальном направлении повышения качества и снижения сроков проектирования изделий. А в качестве примера представим **APM Structure3D** — модуль системы APM WinMachine, который, как нам кажется, способен существенно изменить ситуацию на российском рынке САПР.

Система КЭ-анализа APM Structure3D успешно продается на рынке САПР, эффективно используется в машиностроении и строительстве. Это стало возможным благодаря русскоязычному интерфейсу и со-

проводящей систему документации, сказалось и существенное снижение стоимости по отношению к западным аналогам. Нам удалось снизить стоимость продукта в десять и более раз. По количеству решаемых пакетом задач он несколько уступает зарубежным системам, однако те возможности, которыми обладает APM Structure3D, в большинстве случаев достаточны, а по соотношению "цена/качество" сегодня это наилучшее предложение на рынке. Пакет постоянно совершенствуется — как качественно, так и количественно.

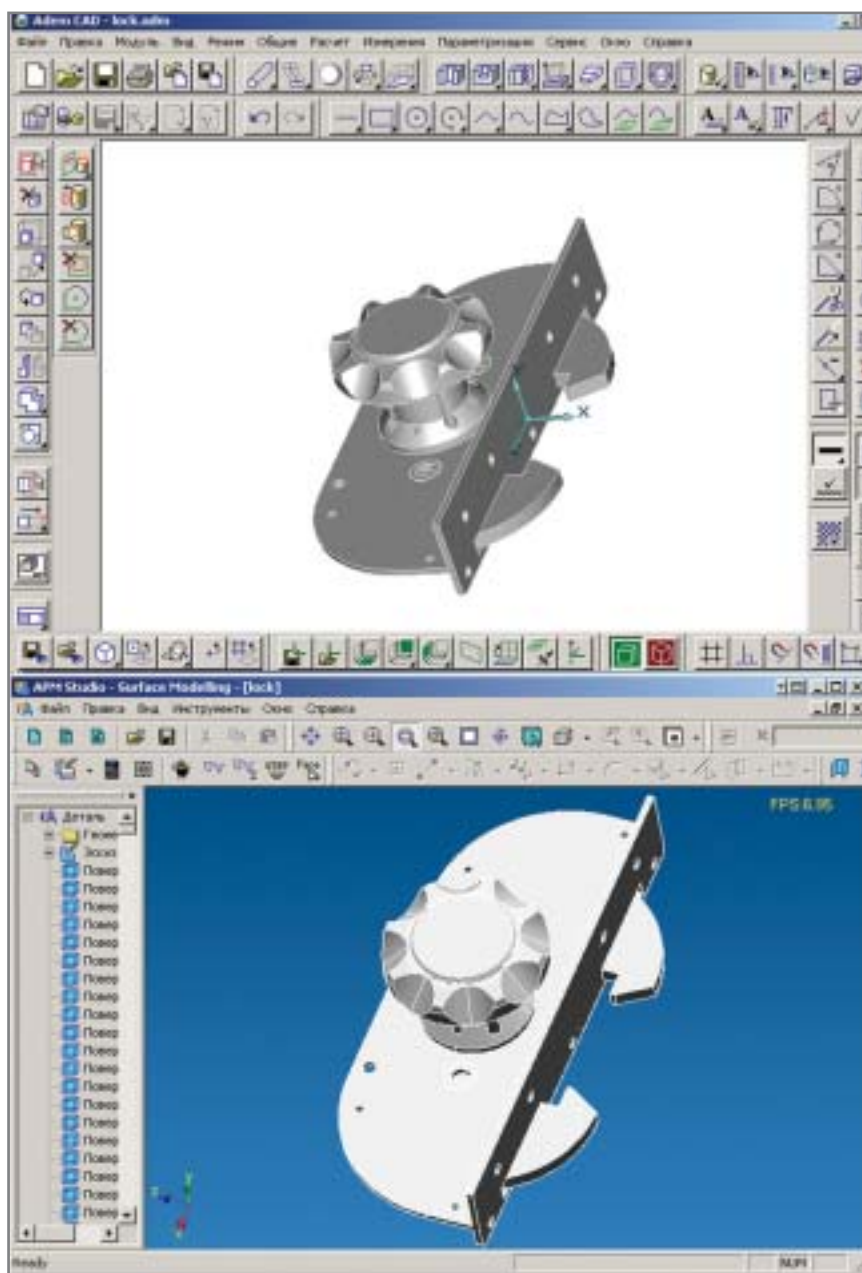


Рис. 4. Передача с использованием формата STEP трехмерной модели из AdemCAD в модуль пространственного проектирования APM Studio

Что может APM Structure3D

APM Structure3D позволяет рассчитывать:

- величины напряжений и деформаций в любой точке конструкции, с учетом как внешнего нагружения, так и собственного веса каждого из элементов;
- 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 постановке. Под нелинейной постановкой понимается учет геометрической и физической нелинейности.

В следующей версии системы APM Structure3D, выход которой запланирован на середину мая этого года, вводится в коммерческую эксплуатацию модуль расчета кинематики, динамики и кинестатики механизмов и упругих тел. По тематике решаемых задач этот программный продукт близок к системе MSC Adams.

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 всё многообразие строительных и машиностроительных конструкций и их элементов. В качестве примера стержневой модели приведем строительную конструкцию, изображенную на рис. 2. Оболочечная модель и ее напряженно-деформированное состояние (НДС) при известном нагружении представлены на рис. 3.

Твердотельную модель можно подготовить как в модуле APM Structure3D, используя его встроенные функции, так и с помощью разработанного в НТЦ АПМ редактора трехмерного моделирования APM Studio. Кроме того, посредством формата обмена STEP возможен им-

порт трехмерных моделей, созданных сторонними средствами. Рис. 4 иллюстрирует использование технологии, при которой модель готовится в APM Studio.

Методы расчета

Весь комплекс необходимых инженерных вычислений в APM Structure3D осуществляется с использованием **метода конечных элементов (МКЭ)**. При необходимости применяются и другие методы строительной механики, адекватные перечисленным выше задачам. Число конечных элементов для разбиения сечений стержней (и, следовательно, длительность времени расчета) устанавливается пользователем. По умолчанию в APM Structure3D заданы настройки, характерные для большинства расчетных случаев, однако общее количество конечных элементов ограничено только возможностями имеющейся в вашем распоряжении компьютерной техники.

Для создания твердотельных и оболочечных элементов в модуле APM Studio предусмотрен специализированный генератор автоматического разбиения на конечные элементы, с помощью этого же инструмента можно задать условия закрепления и нагружения. Стержни также разбиваются на конечные элементы в автоматическом режиме с использованием встроенного генератора разбиения.

В зависимости от топологии модели создаваемая КЭ-сетка может быть равномерной либо адаптивной, когда размер конечного элемента определяется геометрией детали. В местах большой кривизны размерность конечного элемента автоматически уменьшается. Пример адаптивного КЭ-разбиения модели на конечные элементы показан на рис. 5.

После построения КЭ-сетки необходимо решить систему уравнений, которые формируются в результате КЭ-анализа. Методы решения могут быть различными. В текущей версии системы реализованы два из них, однако это еще 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? На этапе создания программного продукта, проверяя правильность осуществления многочисленных расчетных процедур, разработчики постоянно выполняли параллельные вычисления — как аналитические, так и численные, причем последние проводились в таких известных CAE-пакетах, как MSC.Nastran и ANSYS. Сейчас мы готовы утверждать, что результаты расчета в APM Structure3D полностью согласуются с результатами, которые дают известные зарубежные аналоги.

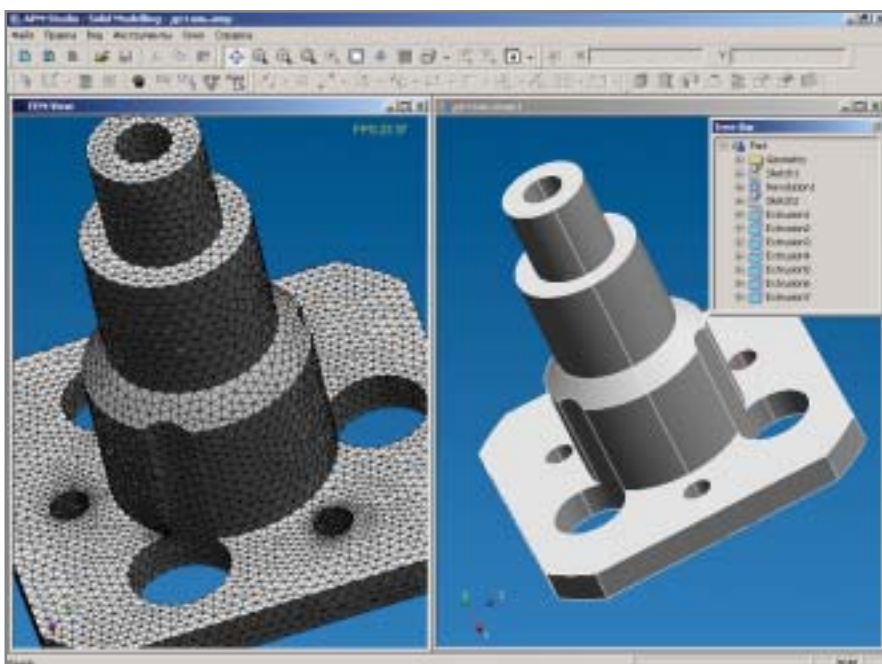


Рис. 5. Результат работы автоматического генератора КЭ-сетки в режиме адаптивного разбиения

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, необходимое пользователю на подготовку модели, поэтому при разработке наших программных продуктов мы уделяли самое пристальное внимание именно вопросам интерфейсного характера. Если верить отзывам большинства из наших многочисленных пользователей, интерфейс препроцессора получился достаточно удобным и понятным.

Специализированный интерфейс 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 конструкцию 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. Отметим в этой связи, что модуль APM Structure3D имеет сертификат Госстроя России на соответствие СНиП и рекомендован к широкому применению при производстве строительных работ.

В APM Structure3D имеется библиотека стандартных профилей и базы данных по материалам и их характеристикам. Специализированный редактор сечений обеспечивает возможность задавать произвольные нестандартные сечения (включая и многосвязные), а также редактировать существующие.

Интерфейсная часть, предназначенная для демонстрации результатов расчета, проста и удобна, а главное сильно облегчает анализ полученных результатов и способствует принятию правильных решений (рис. 6, 7).

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 стержней, входящих в состав конструкции;
- распределения тепловых полей.

Подчеркнем, что по выбору пользователя результат расчета напряжений можно получать в форме эквивалентного напряжения или в виде его осевых компонентов. То же касается и деформаций: как результат расчета пользователь может вывести результирующие деформации либо их составляющие по различным осям координат.

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

Владимир Шелофаст,

Елена Стайнова,

Сергей Розинский

Научно-технический центр АПМ

Тел.: (095) 514-8485, 513-1393

E-mail: com@apm.ru

Internet: www.apm.ru

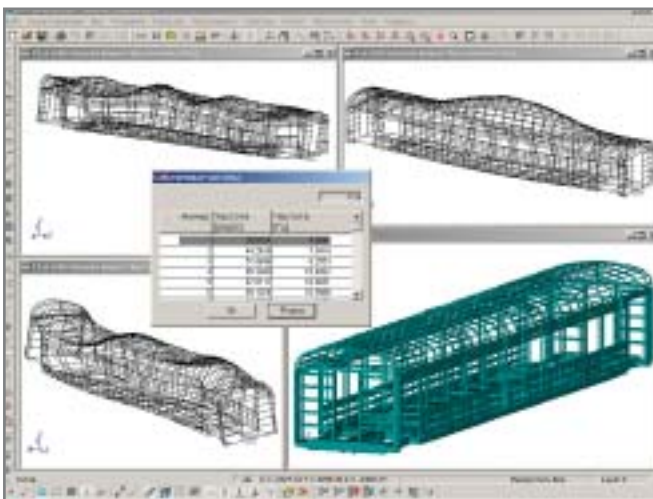


Рис. 6. Расчет собственных частот модели вагона электропоезда Демидовского машиностроительного завода

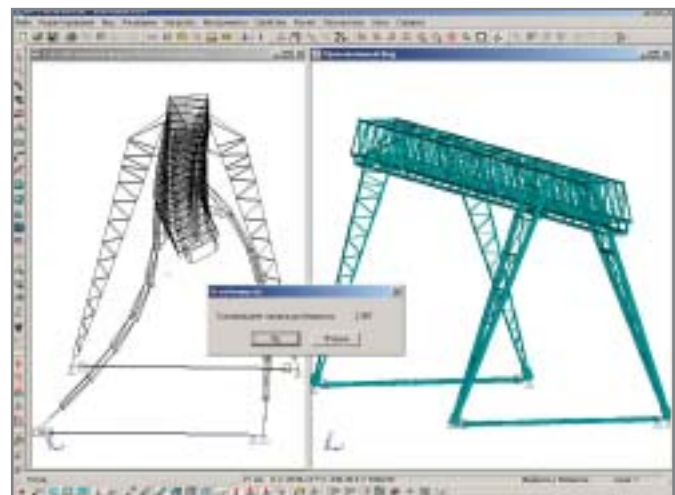


Рис. 7. Результат расчета устойчивости модели козлового крана, спроектированного в ООО "Научно-производственная фирма по проектированию и реконструкции кранов" (г. Узловая Тульской обл.)