

# На нас рассчитывают! НТЦ «АПМ» встречает юбилей — 25 лет!

Владимир Шелофаст

Как быстро летит время! Многие начинаешь осознавать только тогда, когда позади большой практический опыт решения трудных технических и научных проблем. На долгом пути поступательного движения иногда полезно остановиться и осмыслить то,

что уже сделано, и то, что еще предстоит. Главной целью настоящей публикации является анализ пройденного.



Рис. 1. Как все начиналось: фото первого офиса компании

что уже сделано, и то, что еще предстоит. Главной целью настоящей публикации является анализ пройденного.

Поводом для такого анализа является тот факт, что 2 октября 2017 года исполняется 25 лет со дня основания компании ООО НТЦ «АПМ». Можно, конечно, поспорить по поводу правильности этой даты, так как разработки программного обеспечения в области САЕ-анализа велись и гораздо раньше группой энтузиастов в рамках инновационного подразделения факультета «РК» Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана. Но в октябре 1992 года была юридически оформлена самостоятельная структура ООО НТЦ «АПМ», которая и продолжила нача-

тые работы (рис. 1). По этой причине 2 октября 1992 года и считается официальной датой рождения компании, которой принадлежат права на продукты, в наименовании которых присутствует аббревиатура «АПМ». Эти продукты позволяют выполнить инженерный

анализ объектов машиностроения, приборостроения и строительства. За прошедшие 25 лет более 1500 предприятий и организаций в России и за рубежом приобрели и успешно используют программы нашей компании при выполнении САЕ-анализа.

Необходимо отметить, что разработка компьютерных программ в области САЕ требует знаний и опыта не только в программировании, но и в прикладной математике, физике, инженерном проектировании, технологии и других смежных дисциплинах. Создание программного обеспечения в нашем конкретном случае — это не просто использование известных алгоритмов и их компьютерная реализация, а большая научно-исследовательская

и экспериментальная работа. Сотрудники компании — это высококвалифицированный коллектив научных работников, программистов-математиков, специалистов-расчетчиков, стилистов и других, которые ведут научные исследования теоретического и экспериментального характера, занимаются разработкой новых алгоритмов и программ, их валидацией и верификацией. Часть специалистов занята экспертизой проектов и выполнением расчетов по заказу предприятий. Треть сотрудников компании имеют ученые степени в области технических и физико-математических наук.

Если представлять современные возможности продуктов компании НТЦ «АПМ», то следует отметить тот факт, что перечень решаемых задач постоянно расширяется в плане тематики, точности получаемых решений, скорости выполнения вычислительных и интерфейсных процедур, а также повышения размерности решаемых задач. Если на начальном этапе в линейке программных продуктов инженерного анализа были представлены исключительно продукты конечно-элементного анализа механических объектов, то в настоящее время — это практически весь набор по моделированию и расчету мультифизических процессов.

Если более детально подойти к перечню программных продуктов компании, то их условно можно подразделить на две группы. К первой группе продуктов можно отнести те из них, которые можно использовать для самостоятельного

## Владимир Шелофаст

Генеральный директор  
НТЦ «АПМ», д.т.н.,  
профессор МГТУ  
им. Н.Э. Баумана.

решения определенного класса задач. К продуктам второй группы — те, которые предназначены для решения смешанных задач, собранных из набора продуктов, относящихся к первой группе.

Программные продукты, составляющие первую группу:

- **APM StructFEM** позволяет проводить анализ жесткости, статической и усталостной прочности методом конечных элементов (МКЭ) трехмерных объектов любой сложности при произвольном закреплении и для случая линейного и нелинейного деформирования. Также можно выполнить расчет устойчивости, анализ форм потери устойчивости, определить частоты собственных колебаний и собственные формы, смоделировать вынужденные колебания, провести анализ теплового воздействия и термпрочности при стационарных и нестационарных режимах нагружения (рис. 2). Расчеты выполняются как для отдельных деталей, так и для сборок. При этом поддерживаются разные типы материалов: изотропные, анизотропные, ортотропные, многослойные и композиционные. Вероятность разрушения оценивается до и за пределом прочности. Система позволяет провести процедуру топологической оптимизации с целью карди-

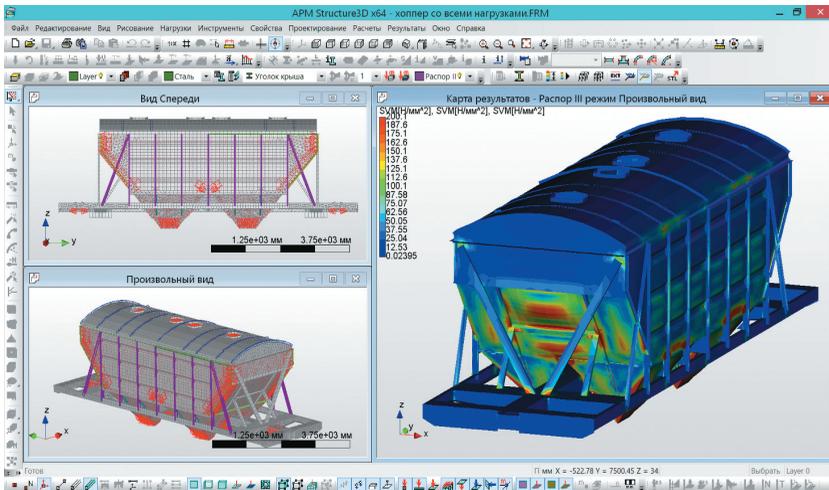


Рис. 2. Пример расчета НДС вагона-хоппера с использованием APM StructFEM

нального снижения веса проектируемых деталей;

- **APM Mechanic** позволяет выполнить анализ и синтез деталей и узлов общего назначения, входящих в состав машин, механизмов и конструкций с использованием инженерных методов (рис. 3).

Детали специального назначения можно рассчитать с использованием МКЭ. Перечень основных возможностей продукта выглядит следующим образом:

- проектировочные и проверочные расчеты механических передач вращения (цилиндрических, конических, чер-

- вяных, ременных, цепных) с автоматической генерацией чертежей,
- проверочный расчет валов и осей (статический, динамический и усталостный) с автоматической генерацией чертежей,
- проверочный расчет подшипниковых узлов качения и скольжения с определением основных параметров работы,
- проектировочные и проверочные расчеты привода вращательного движения произвольной структуры с генерацией чертежей отдельных деталей и созданием сборочного чертежа,
- расчет упругих элементов машин (проектировочные и проверочные расчеты) с автоматической генерацией чертежей,
- проверочные расчеты передач поступательного движения (винтовых, шарико-винтовых),
- проектировочные расчеты кулачковых механизмов с поступательным или коромысловым толкателями с анимацией работы и автоматической генерацией чертежей,
- кинематический и динамический анализ рычажных механизмов с получением анимации работы механизма, визуализацией графиков траекторий, скоростей, ускорений, силовых факторов,
- проектировочные и проверочные расчеты таких видов соединений, как групповые резьбовые, заклепочные, сварные и соединения деталей тел вращения;

- **APM EMA (ElectroMagnetic Analysis)** позволяет моделировать и выполнять различные виды анализа характеристик электромагнитного поля для электротехнического оборудования и оборудования средств связи. Расчеты выполняются для стационарных и нестационарных режимов. Функциональные возможности системы APM EMA по решению систем уравнений электродинамики включают широкий спектр инструментов, предназначенных для подготовки моделей, являющихся предметом анализа. Основными типами расчетов являются: электростатический расчет, расчет поля постоянных токов, магнитостатический расчет, нестационарный электромагнитный расчет, высокочастотный модальный анализ (рис. 4);

- **APM ECA (Electrical Circuit Analysis)** служит для имитационного моделирования

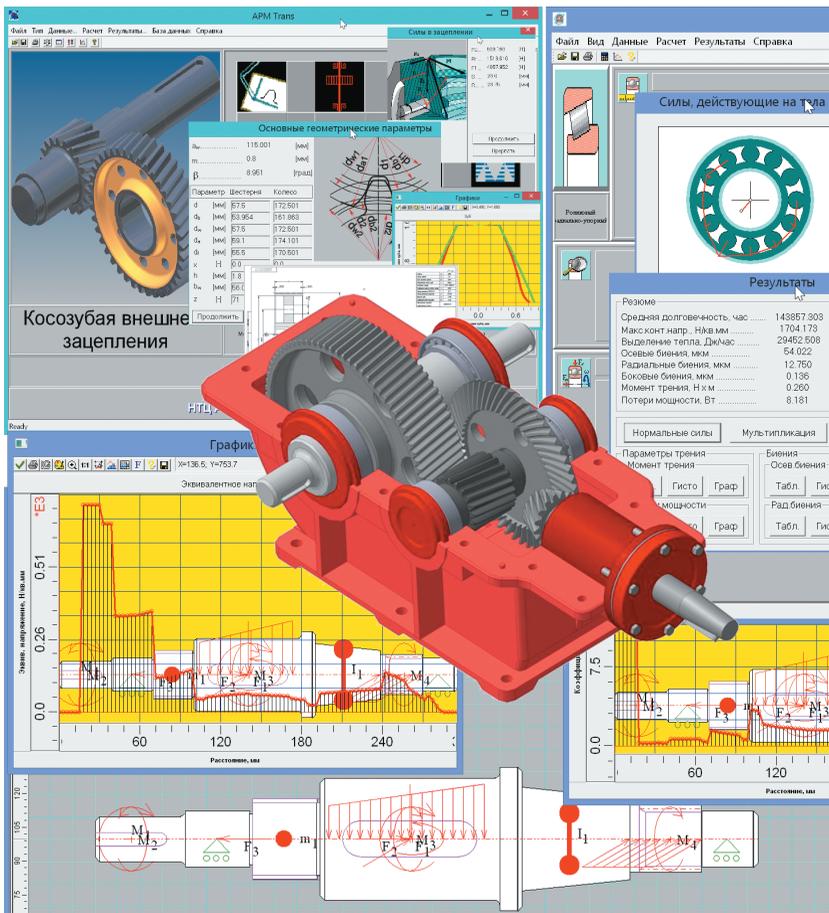


Рис. 3. APM Mechanic — уникальный продукт для машиностроителей

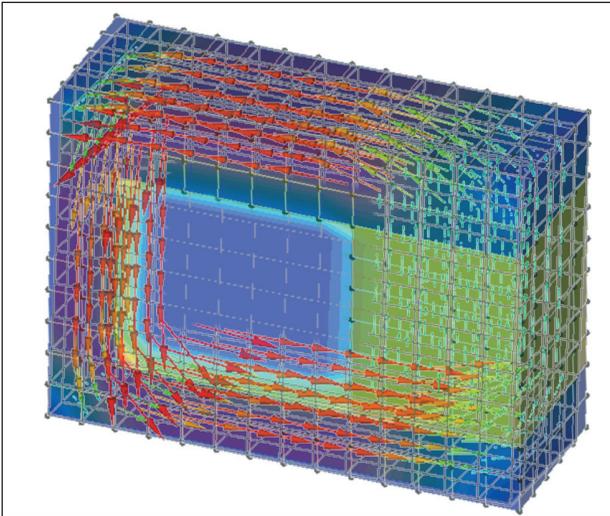


Рис. 4. Пример визуализации расчетов электромагнитных полей

электрических цепей и полупроводниковых устройств с целью их инженерного анализа. Это единый интегрированный комплекс с набором необходимых собственных инструментов для выполнения всех стадий решения задач анализа электрических цепей и электронных систем (рис. 5). APM ECA включает:

• **APM FGA (Fluid and Gas Analysis)** позволяет проводить конечно-элементный анализ течений жидкостей и газов с целью получения пространственных кинемати-

- модуль подготовки графической информации, включающий средства создания схемотехнического представления электрических и электронных систем;
- модуль подготовки препроцессорной информации, включающий инструменты задания характерных свойств элементов схемотехнического представления, топологических связей начальных и граничных условий в виде постоянных значений;
- модуль процессорного обеспечения расчетных задач в различных постановках;
- модуль постпроцессорной информации, включающий визуализацию результатов анализа в виде табличного и графического представления;

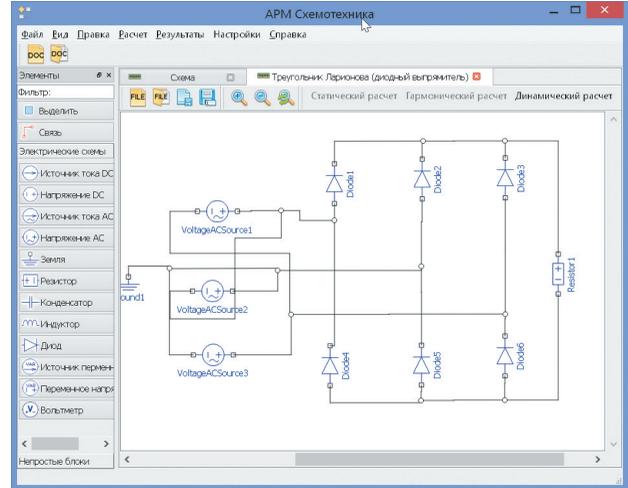


Рис. 5. Пример построения принципиальной схемы прибора в APM ECA

ческих, динамических и энергетических характеристик, комплексно описывающих их поведение с различными граничными условиями и физическими свойствами (рис. 6).

Как уже было отмечено, перечисленные независимые программные решения можно использовать комплексно. Такие « сборки » повышают эффективность выполнения комплексных задач инженерного анализа. Го-

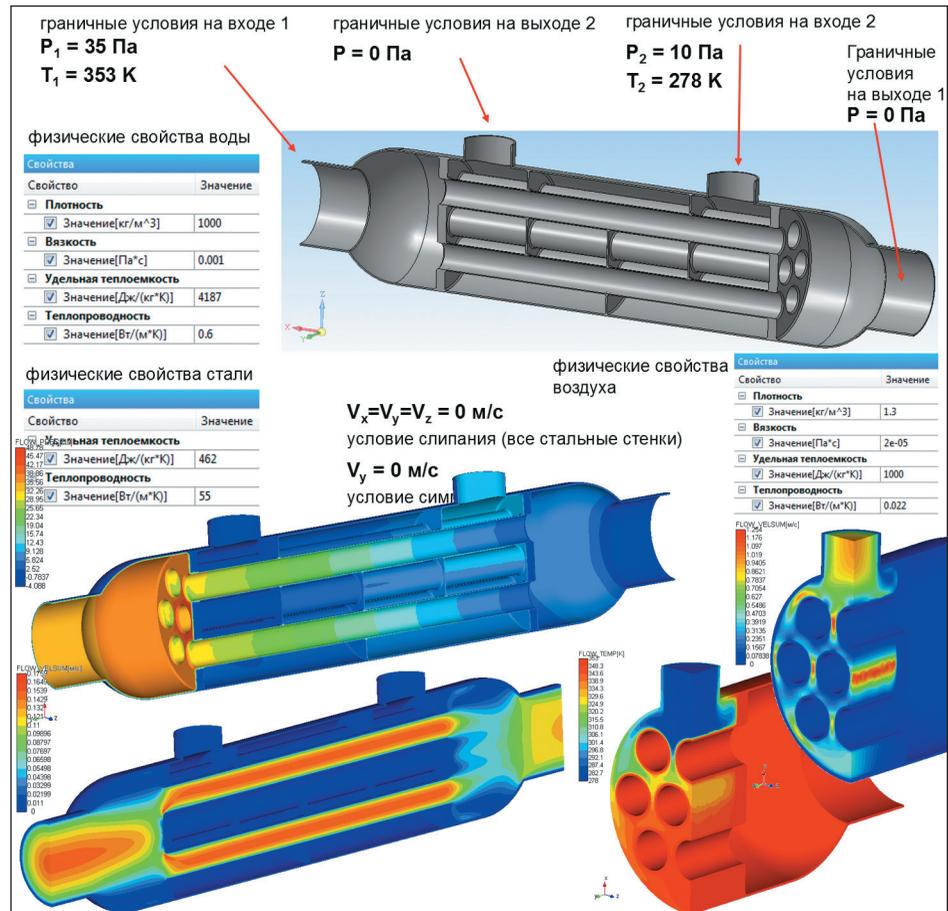


Рис. 6. Пример расчета теплообменника в APM FGA

вора о комплексных решениях, следует отметить, что это не простое арифметическое сложение продуктов, а сложная организация вычислительных процедур, включающая эф-

фективные инструменты обмена исходными и расчетными данными. К этой категории мы отнесем два продукта:

- **APM WinMachine (APM StructFEM + APM Mechanic).**

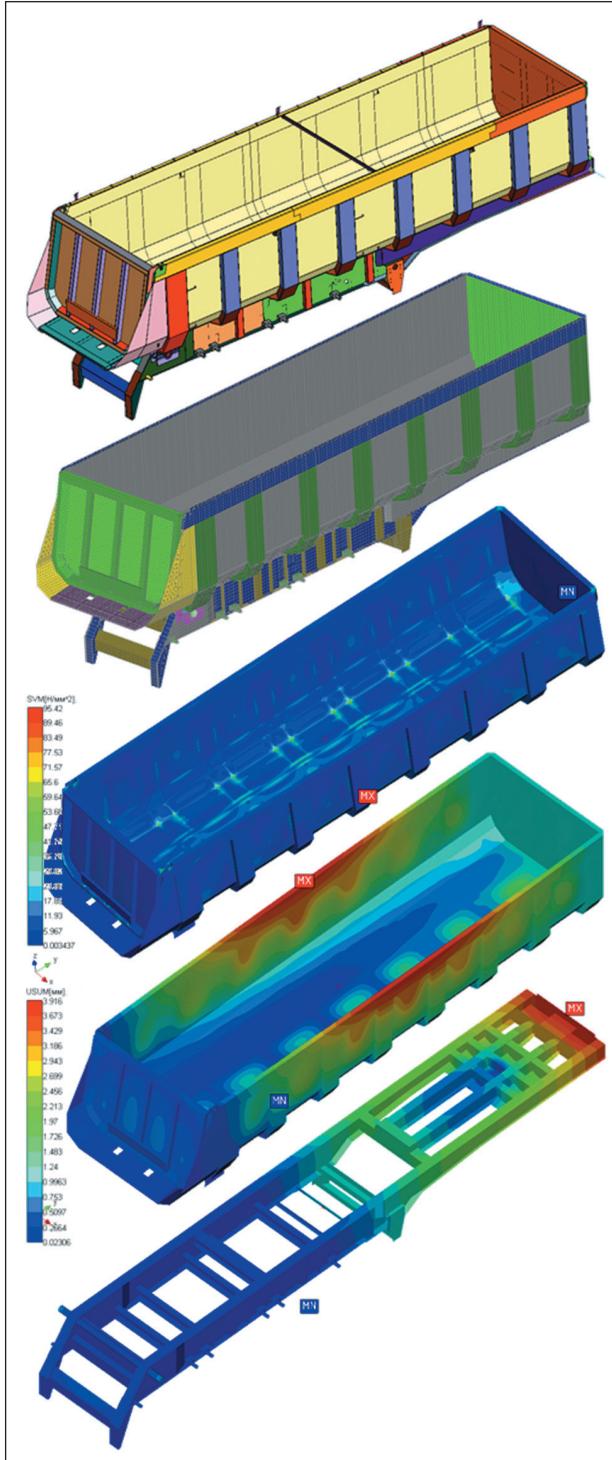


Рис. 7. Оптимизация конструкции кузова самосвала в APM WinMachine

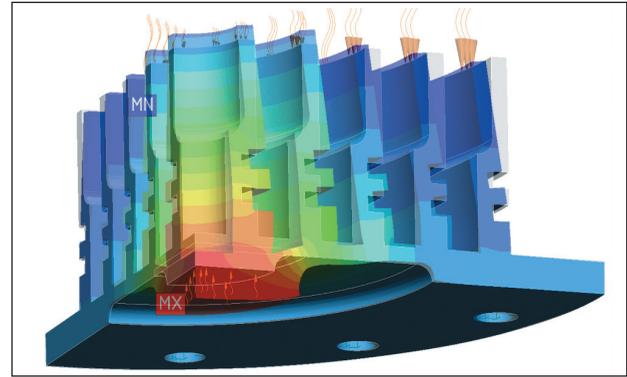


Рис. 8. Пример распределения температуры по радиатору охлаждения

Это система динамического и прочностного анализа, синтеза конструкций машиностроения и приборостроения, составленная из продуктов, указанных в заголовке. Все функции отдельных продуктов сохранены и в «сборке». Описанная комбинация удобна для использования, поскольку программы анализа и синтеза скомпонованы в единой расчетной среде (рис. 7).

- **APM Multiphysics (APM StructFEM + APM Mechanic+ APM EMA+ APM FGA+ APM ECA)** представляет собой сложение возможностей перечисленных выше систем; **APM Multiphysics** позволяет определять статические и динамические характеристики механических систем, смоделировать физические процессы теплопередачи и термпрочности, описать поведение жидкости и газа, представить картину элек-

трических и электродинамических полей, электромагнитного излучения, схемотехнических решений электрических и электронных схем и систем автоматического управления (рис. 8). Перечисленные задачи дополнены методами инженерного анализа и синтеза, доступными в **APM Mechanic**.

Несколько обособленно стоят специализированные программные продукты **APM FEM** для **КОМПАС-3D** и **APM Civil Engineering**.

- **APM FEM** для **КОМПАС-3D** — это система прочностного конечно-элементного анализа, предназначенная для выполнения экспресс-расчетов твердотельных объектов и сборок, а также поверхностных моделей в **КОМПАС-3D**. В состав **APM FEM** входят инструменты подготовки деталей и сборок к расчету, задания граничных условий и нагрузок, а также встро-

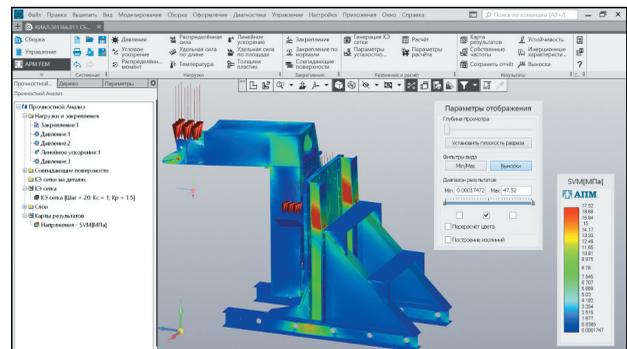


Рис. 9. Расчет металлоконструкции несущей рамы с использованием APM FEM

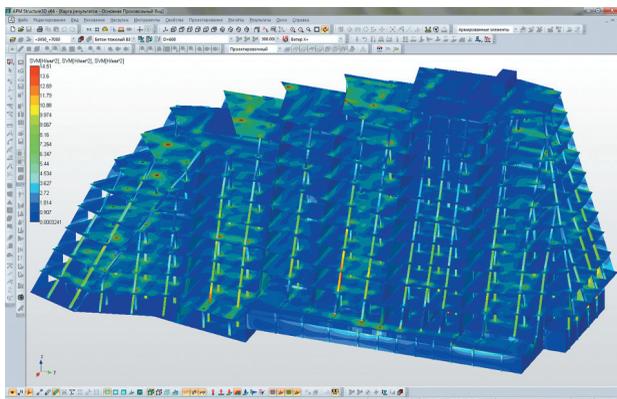


Рис. 10. Анализ напряженного состояния строительной конструкции

енные генераторы конечно-элементной сетки и постпроцессор (рис. 9). Этот функциональный набор позволяет провести расчеты и комплексно проанализировать поведение расчетной модели при различных воздействиях с точки зрения статике, собственных частот, устойчивости и теплового нагружения;

- **APM Civil Engineering** — CAE-система автоматизированного проектирования и расчета строительных объектов гражданского и промышленного назначения. Эта система предназначена для проведения комплексного инженерного анализа и синтеза строительных объектов: металлических, железобетонных, армокаменных, а также объектов, изготовленных из древесины, композиционных и других материалов. При выполнении всего комплекса вычислений учитываются требования государственных стандартов и других нормативных документов, относящиеся к строительному проектированию. Данный программный продукт имеет широкие функциональные возможности для создания моделей конструкций, выполнения необходимых расчетов и визуализации полученных результатов (рис. 10). Это позволяет сократить сроки проектирования и снизить мате-

риалоемкость строительного объекта, а также уменьшить стоимость проектных работ и строительства в целом.

Разработанные программные продукты оформлены в виде **единой вертикально-интегрированной CAD/CAE-среды**, что принципиально отличается от доминирующей в мире горизонтальной компоновки, при которой механически объединяются продукты независимых разработчиков.

Вертикальная схема интеграции составляющих частей общей расчетной системы предусматривает наличие единой платформы инструментов пре- и постпроцессорного обслуживания и единой системы организации расчетных процедур, унификацию интерфейсных команд, общность технологических операционных процедур и одинаковый подход к процедурам организации вывода результатов вычислений. Такой подход к созданию ПО предполагает структурирование программных кодов, а единые стандарты организации интерфейса существенно упрощают работу с системой в целом и с составляющими ее частями. При этом исключаются потери при транспортировке моделей между различными частями, включенными в комплексный состав.

Вертикально-интегрированный подход к созданию расчетных систем позволя-

ет эффективно решать любую инженерную проблему в целом, не разделяя ее на отдельные задачи и выполняя весь комплекс необходимых операций в одной универсальной среде.

Для эффективной подготовки данных с целью моделирования и последующего анализа разработанное программное обеспечение имеет все необходимые средства. Это и специализированные графические редакторы, и средства обмена файлами с внешними графическими средами как на

геометрическом, так и на сеточном уровнях.

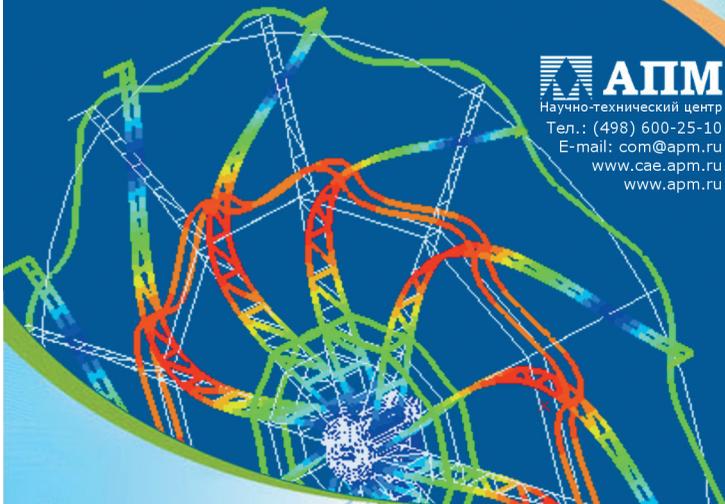
Обязательным атрибутом любой конечно-элементной (КЭ) системы является генератор конечно-элементной сетки. Применение этого генератора позволяет обеспечить автоматическое создание плоских конечных элементов на поверхностях моделей и объемных конечных элементах на твердотельных деталях. Конечно-элементные сетки формируются как с постоянным, так и с переменным шагом разбиения. В режиме адаптивного форми-

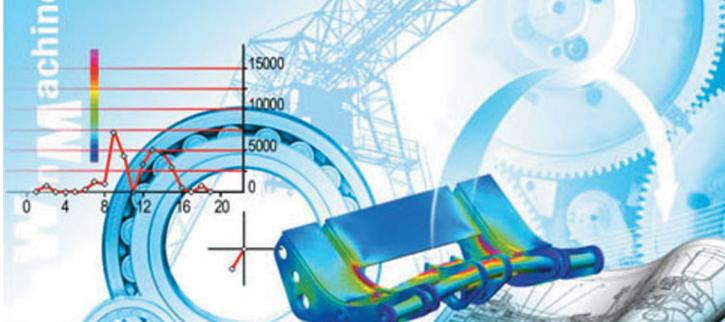
Реклама

Optimal solutions  
in construction and machine engineering



**АПМ**  
Научно-технический центр  
Тел.: (498) 600-25-10  
E-mail: com@apm.ru  
www.cae.apm.ru  
www.apm.ru





рования сетки выполняется автоматический подбор размера конечного элемента в зависимости от формы и кривизны поверхности (рис. 11). Имеются средства генерации совместной сетки на сопряженных поверхностях сборок, также предусмотрена процедура принудительного разбиения и модификации отдельных областей в интерактивном режиме. Генератор с такими возможностями разработан в России впервые. Для объектов простой и правильной геометрической формы реализована возможность построения сеток в неавтоматическом режиме.

Библиотека конечных элементов, используемых для моделирования конструкций, постоянно расширяется. В настоящее время в нее входят:

- стержневые КЭ (балка, ферма, канат, PIPE (участок трубопровода));
- оболочечные КЭ (треугольный (DKT, MITC), четырехугольный (DKT, MITC));
- твердотельные КЭ (8-узловой октаэдр, 20-узловой октаэдр, 6-узловая треугольная при-



Рис. 12. Общее фото участников Форума пользователей 2017 года

зма, 15-узловая треугольная призма, 5-узловая пирамида, 13-узловая пирамида, 4-узловой тетраэдр, 10-узловой тетраэдр);

- специальные КЭ (сосредоточенная масса и момент инерции, упругая связь, совместные перемещения, контактные элементы).

Можно еще долго перечислять возможности современного наполнения программных систем, но не это главное. Главной идеей статьи является то, что

разработка программных продуктов компанией НТЦ «АПМ» не останавливается ни на минуту, а прошедшие 25 лет были весьма плодотворными.

Конечно, в рамках одной журнальной статьи нереально даже кратко описать возможности программных продуктов, которые разрабатывались четверть века. Статья предназначена для того, чтобы еще раз напомнить, что конструкторская работа не ограничивается графикой. Она многообразна. В проектно-конструкторской работе нужно использовать, помимо прочего, совершенные САЕ-продукты. Только в этом случае можно создавать совершенные конструкции, оптимизированные параметрически и топологически с минимальной материалоемкостью и с высокой степенью надежности. Только при серьезном инженерном анализе принимаемых конструктивных решений можно не только соперничать с лучшими в своем классе зарубежными аналогами, но и опережать их в конкурентной борьбе.

Если говорить о перспективах, то наше ПО разрабатывается в том числе и с целью импортозамещения. Россия с ее научными традициями в состоянии самостоятельно разрабаты-

вать наукоемкие компьютерные программы стратегического назначения, а не ввозить их из-за рубежа. Созданное компанией НТЦ «АПМ» программное обеспечение способно в полном объеме заменить САЕ-продукты иностранных производителей, что является нашим практическим вкладом в технологическую независимость России. В будущее мы смотрим с оптимизмом и надеждой на то, что программные продукты компании будут гораздо шире представлены на отечественном и зарубежных рынках. А мы будем постоянно улучшать их функциональные свойства как по количеству решаемых проблем и быстродействию, так и по повышению размерности выполняемых задач.

Отдельное спасибо хотелось бы сказать нашим пользователям. Мы постоянно поддерживаем с ними связь и проводим ежегодный Форум «Профессиональные решения для инженерного анализа конструкций» (рис. 12). Все это дает нам силы и уверенность, что наш труд приносит пользу и будет востребован в настоящем и будущем. И, конечно, благодарим журнал «САПР и графика», который уже долгие годы является нашим надежным информационным партнером! ➤

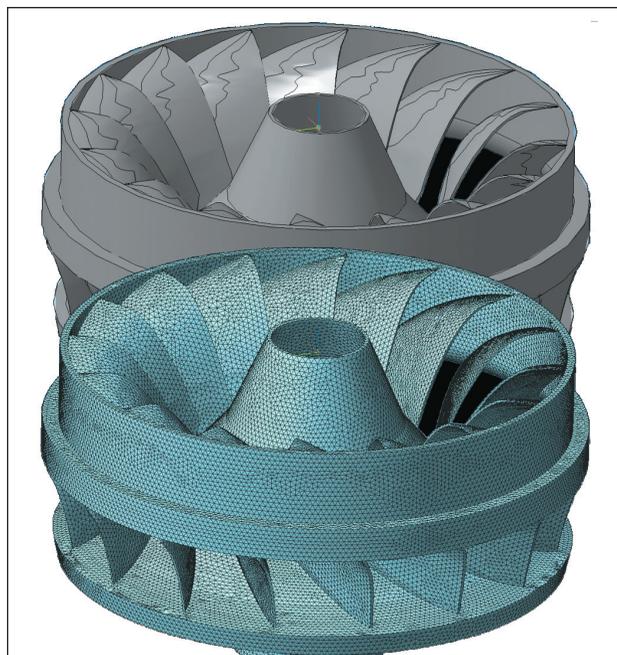


Рис. 11. Пример генерации адаптивной КЭ-сетки на рабочем колесе гидротурбины