

# Интегрированный конечно-элементный анализ в КОМПАС-3D

Александр Магомедов (АСКОН), Андрей Алехин (НТЦ АПМ)

## Введение

Создание современного оборудования на этапе проектирования не ограничивается его геометрическим моделированием. Без всестороннего инженерного анализа проектируемого объекта невозможно выпускать конкурентоспособную продукцию. Разработчики во всём мире трудятся над тем, чтобы их конструктивные решения обеспечивали статическую прочность и жесткость, достаточную долговечность, устойчивость и подходящие динамические характеристики, имея при этом минимальный вес, минимальную стоимость, минимальное энергопотребление и т.п. Иначе говоря, востребованными на рынке оказываются только те решения, которые не имеют ни одного лишнего грамма металла. Все эти требования можно охарактеризовать одним емким термином – оптимальность. Оптимизация создаваемых конструкций является залогом их конкурентоспособности.

Использование инструментов CAE-анализа позволит современным предприятиям создавать продукцию, не уступающую лучшим мировым образцам и даже их превосходящую.

По этой причине компания АСКОН, разработчик одной из самых популярных в России систем трехмерного моделирования КОМПАС-3D, и компания НТЦ АПМ – российский лидер разработчиков систем конечно-элементного анализа, объединили усилия для создания программного продукта, который помимо геометрического моделирования позволяет выполнить комплексный инженерный анализ, как отдельных деталей, так и сборок целиком.

В результате совместной работы, в среде КОМПАС-3D появилась CAE-библиотека, реализующая решения инженерных задач методом конечных элементов (КЭ) применительно к описанным выше проблемам инженерного анализа. В настоящей статье дана краткая информация о функциональных возможностях этой библиотеки.

Для справки отметим, что конечные элементы бывают стержневыми, оболочечными, представленными в виде гибких нитей и твердотельными. Из произвольных комбинаций этих элементов можно получить любое инженерное конструктивное решение. Однако здесь

речь пойдет только о твердотельных деталях и сборочных единицах, составленных из твердотельных элементов (*solid*), так как рассматриваемая библиотека позволяет выполнить экспресс-анализ прочности *solid*-элементов на этапе подготовки проекта.

## Основные подходы к расчету твердотельных моделей

До недавнего времени пользователи системы КОМПАС-3D при выполнении прочностного анализа деталей и сборок вынуждены были использовать обменные форматы *STEP*, *SAT* и др. для передачи созданной в КОМПАС-3D геометрической модели в сторонние CAE-системы. Такой подход имеет следующие основные недостатки:

- возникает необходимость приобретения лицензий CAE-системы для выполнения расчета;
- использование сторонних форматов снижает надежность передачи геометрической модели.

Учитывая это обстоятельство и принимая во внимание многочисленные пожелания российских предприятий, компании АСКОН и НТЦ АПМ пришли к выводу, что необходимость в более тесной интеграции российских

CAD- и CAE-систем давно назрела. Работы в этом направлении велись несколько лет, и в результате совместной деятельности разработчиков АСКОН и НТЦ АПМ появился новый продукт – система прочностного конечно-элементного анализа *APM FEM*, интегрированная с системой трехмерного моделирования КОМПАС-3D (рис. 1). В настоящее время инструменты *APM FEM* являются составной частью единой среды проектирования и анализа, обеспечивающей ассоциативную связь с геометрической моделью, единую библиотеку материалов и общий с КОМПАС-3D интерфейс.

## Для каких деталей и сборок актуально использование *APM FEM*

В состав практически любого объекта входят большие по размеру детали и узлы, для которых требуется оценка прочности. Приведем наиболее характерные примеры: тяги, проушины, упоры, кронштейны, уголки, рычаги, опорные элементы и т.д. (рис. 2).

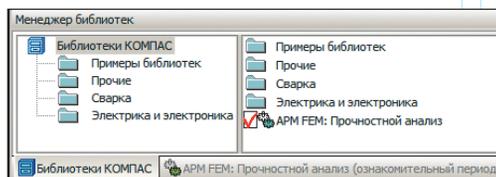


Рис. 1. Библиотека “APM FEM: Прочностной анализ”

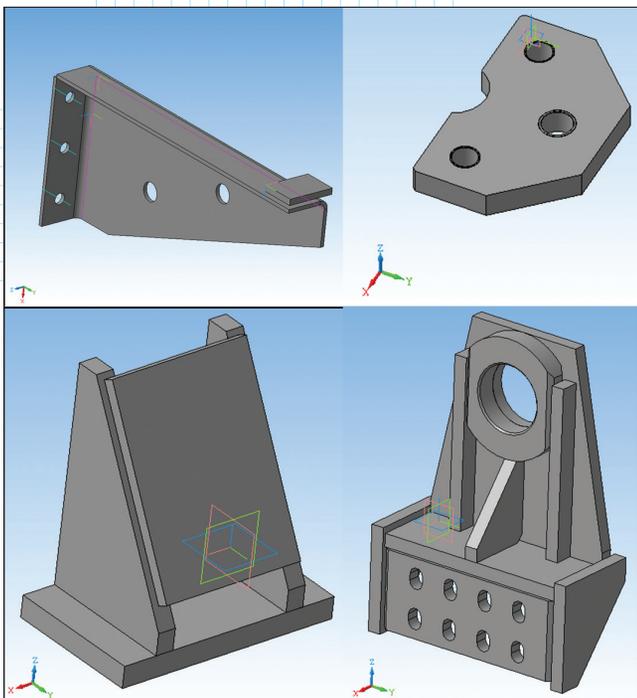


Рис. 2. Элементы конструкций, для которых прочностной экспресс-анализ наиболее востребован

Таких элементов в относительно сложной сборке может быть довольно много. Поскольку в данном случае речь не идет о значительной экономии материалов, то важно быстро оценить прочность элемента конструкции – без оптимизации и проведения многовариантных расчетов.

Если элемент работает только на растяжение-сжатие, то расчет по ослабленному сечению, как правило, не занимает много времени. Выполнение прочностного расчета для сложонагруженного состояния при отсутствии специализированного программного обеспечения становится затруднительным. В этом случае конструктору зачастую приходится полагаться лишь на собственный опыт. Использование для прочностного экспресс-анализа именно встроенной в КОМПАС-3D системы *APM FEM* имеет преимущества по сравнению с привлечением более “тяжелых” *CAE*-систем.

### Преимущества системы *APM FEM*

Перечислим преимущества использования *APM FEM*:

- единый интерфейс, как для геометрической, так и для расчетной модели, обеспечивает простоту и легкость работы с библиотекой. Все действия по созданию 3D-модели, подготовке её к расчету и просмотру результатов осуществляются в едином окне (рис. 3);
- система КЭ-анализа работает с геометрической моделью (ядром) КОМПАС-3D напрямую. Нет необходимости передавать 3D-данные через сторонние форматы, что снижает вероятность возникновения ошибок;
- приемлемая цена. *APM FEM* – это простое и недорогое решение, которое позволяет проводить оценку прочности элементов конструкции без приобретения “тяжелой” полнофункциональной *CAE*-системы.

### Порядок работы

Основные этапы подготовки модели и выполнения расчета:

- 1 Подключение библиотеки “*APM FEM*: Прочностной анализ”;
- 2 Подготовка модели к расчету – задаются закрепления и прикладываемые нагрузки;
- 3 Задание совпадающих граней (для КЭ-анализа сборки);
- 4 Генерация КЭ-сетки;
- 5 Выполнение расчета;
- 6 Просмотр результатов в виде карт напряжений, перемещений.

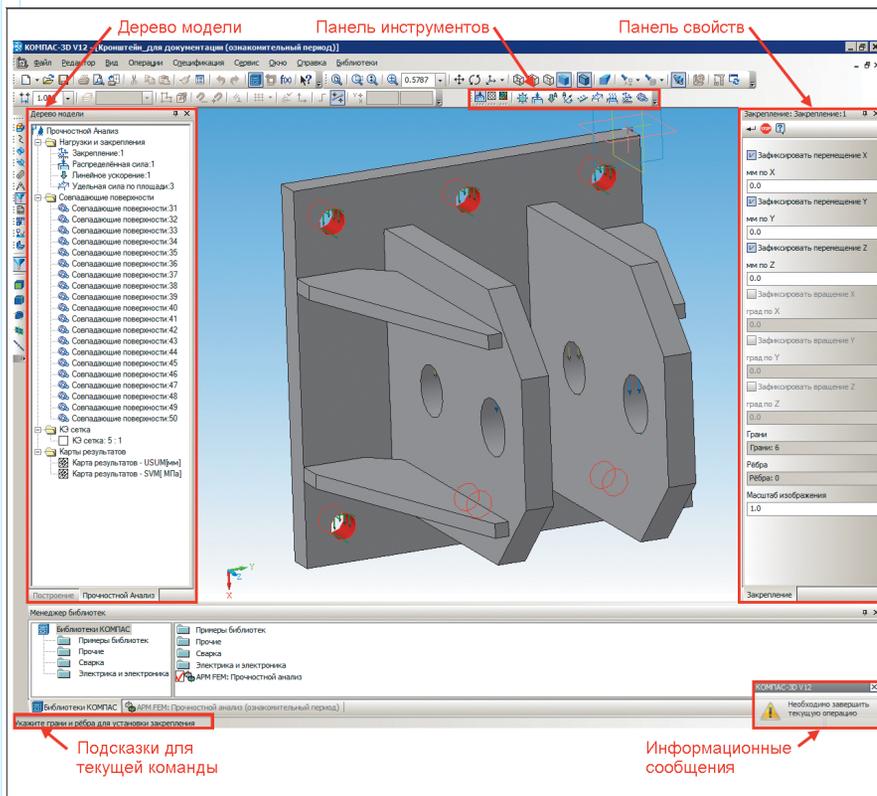


Рис. 3. Единый интерфейс для геометрической и расчетной моделей

## Основные функциональные возможности системы APM FEM

Процедуры расчета построены на базе метода конечных элементов. Поэтому в расчетных моделях могут быть учтены практически все особенности конструкций и условий их эксплуатации.

Условия функционирования конструкции задаются посредством указания различных типов нагрузок и закреплений:

- равномерно распределенное давление на поверхности трехмерной модели. Давление действует по нормали к поверхности и задается в Н/мм<sup>2</sup> (МПа) или в эквивалентной величине силы (Н);
- равномерно распределенная сила по грани или ребру, заданная в проекциях X, Y, Z силы (Н) в глобальной системе координат (рис. 4);

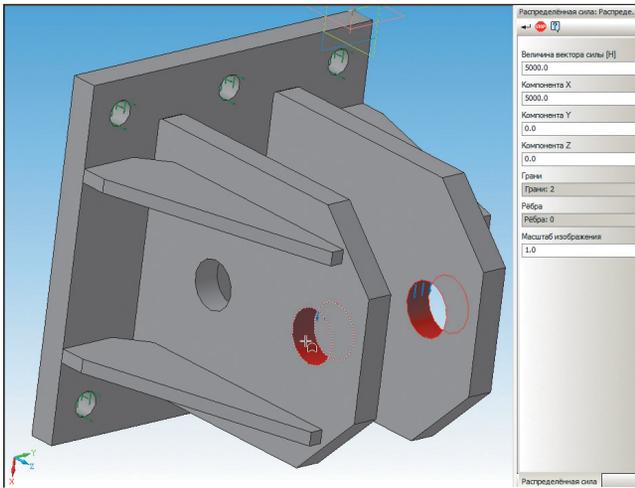


Рис. 4. Задание распределенной силы

- распределенная (по длине) сила задается равномерно по ребру также в проекциях X, Y, Z глобальной системы координат, но, в отличие от предыдущей нагрузки, её размерность – Н/мм;
- удельная (действующая на площадку) сила задается в Н/мм<sup>2</sup> в проекциях X, Y, Z глобальной системы координат;
- нагрузки, действующие на всю конструкцию в целом – линейное и угловое ускорение;
- нагрузки в виде равномерно распределенной температуры вдоль ребра, по поверхности и по объему узла.
- закрепление ребер или граней 3D-модели по направлениям осей глобальной системы координат (рис. 5).

Используя инструмент *закрепление*, можно приложить такую специфическую нагрузку, как смещение выбранных ребер или граней на заданную величину.

Для корректного расчета сборок предусмотрен автоматический поиск совпадающих граней. Для совпадающих граней возможно задание

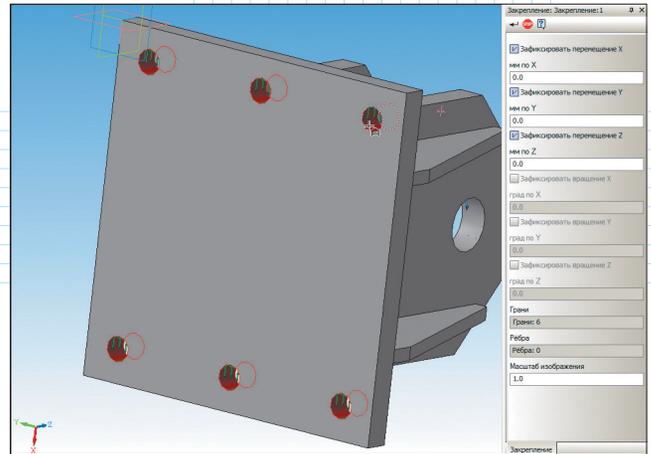


Рис. 5. Задание закреплений

степеней свободы, по которым осуществляется контакт.

В качестве конечных элементов служат тетраэдры. Генерация КЭ-сетки осуществляется в автоматическом режиме с использованием таких параметров, как *Максимальная длина стороны элемента*, *Максимальный коэффициент сгущения на поверхности* и *Коэффициент разрежения в объеме*.

Одним из наиболее важных этапов создания сетки является правильный выбор размера тетраэдра – максимальной длины стороны элемента. Практически длина стороны элемента должна быть примерно в 2÷4 раза меньше толщины самой тонкой детали в сборке.

Максимальный коэффициент сгущения на поверхности – величина, характеризующая, во сколько раз при адаптивном разбиении будут уменьшены размеры конечных элементов (то есть задается ограничение на минимальную сторону треугольника на поверхности). Коэффициент разрежения в объеме – степень уменьшения стороны тетраэдра при уходе вглубь объема твердотельной модели (чем меньше – тем более одинаковыми становятся слои конечных элементов). Использование данных параметров позволяет сетке “адаптироваться” к сложной твердотельной модели в автоматическом режиме (рис. 6).

Параметры КЭ-сетки в APM FEM одинаковы для всех деталей, входящих в сборку. Более расширенное задание параметров КЭ-сетки предусмотрено в модуле APM Studio системы APM WinMachine. Передача 3D-модели в APM Studio осуществляется через форматы STEP и SAT.

К расширенным возможностям работы с КЭ-сетками в APM Studio можно отнести:

- возможность работы с оболочечными моделями;
- задание точек на ребрах;
- указание точек, вокруг которых следует обеспечить дополнительное сгущение;

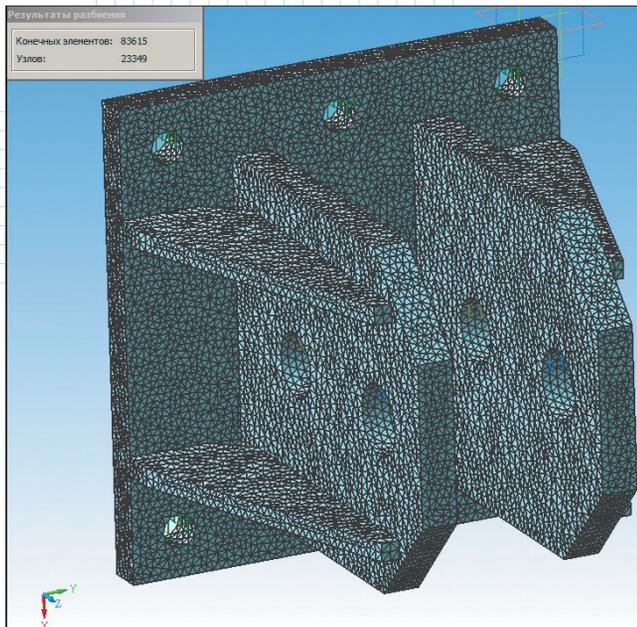


Рис. 6. Конечно-элементная модель кронштейна

- задание различной сетки на гранях задания одной детали;
- задание различного шага для разных деталей сборки.

Кроме того, предусмотрена возможность сохранения КЭ-сетки и результатов расчета в файл *APM Structure3D*. Такая необходимость может быть обусловлена разными причинами:

- результаты расчета существенно “утяжеляют” модель КОМПАС-3D, поэтому их удобно хранить в отдельном файле;

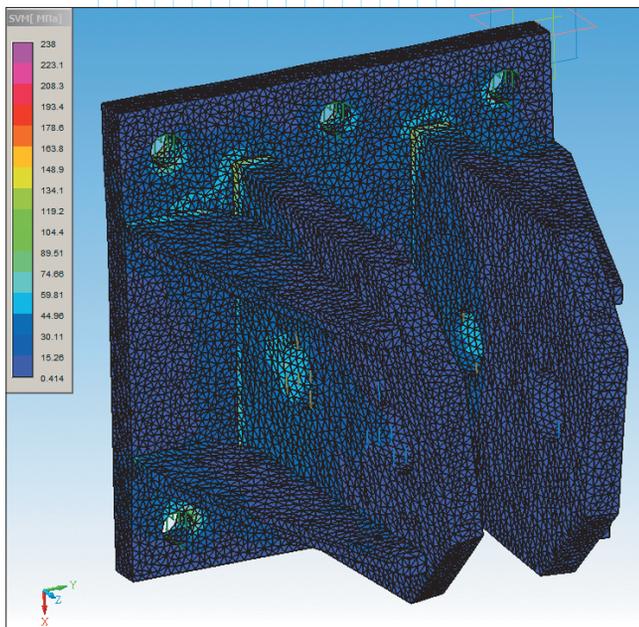


Рис. 7. Результаты расчета – карта эквивалентных напряжений

- требуется подготовка КЭ-моделей, состоящих из разных типов конечных элементов (например, добавление к твердотельной модели из КОМПАС-3D пластинчатых или стержневых конечных элементов и создание, таким образом, гибридной расчетной модели);
- требуется редактирование модели средствами *APM Structure3D* – например, задание узловой нагрузки или закрепления;
- необходимо выполнить расчет, который не предусмотрен в *APM FEM* – например, расчет на вынужденные колебания.

Таким образом, сохраняется преимущество КЭ-модели, благодаря чему возможно выполнение расчета в системе *APM Structure3D*.

Если перед выполнением расчета сборки совпадающие грани не были заданы, то система выполнит их поиск автоматически. При этом совместными будут считаться перемещения по всем трем осям глобальной системы координат.

*APM FEM* позволяет выполнить следующие виды расчетов:

- линейный статический;
- на устойчивость;
- собственных частот (резонанса) и форм колебаний;
- для задачи стационарной теплопроводности;
- для задачи термоупругости при совместном выполнении статического и теплового расчетов.

В качестве результатов расчета предлагаются карты напряжений, перемещений, коэффициентов запаса по различным критериям прочности, температур; собственные частоты и формы колебаний. Карты напряжений (рис. 7) позволяют наиболее точно проанализировать работу узла под действием нагрузки, выявить концентраторы напряжений, оценить жесткость конструкции.

Между геометрической и расчетной модели обеспечивается ассоциативная связь. При внесении изменений в геометрическую модель, редактировании закреплений или нагрузок достаточно всего лишь выполнить перестроение сетки и повторить расчет.

Впервые интеграция *APM FEM* была реализована с системой КОМПАС-3D V12 (*SP2*). В дальнейшем планируется расширить функциональные возможности задания нагрузок, работы с сетками, конечно-элементного анализа, оставив неизменным простоту и удобство работы с библиотекой прочностного анализа. ☞

**Авторы:**

**Александр Магомедов** – АСКОН, менеджер по маркетингу машиностроительного направления;

**Андрей Алехин** – НТЦ АПМ, заместитель технического директора.