

Тестируем *APM FEM* – новое приложение для прочностных расчетов в среде КОМПАС-3D

Леонид Платонов, инженер-конструктор (ГП “НИИ комплексной автоматизации”, г. Донецк)

С системой КОМПАС-3D я познакомился еще в студенческие времена, во время учебы в Донецком национальном техническом университете. И с тех пор, по мере возможности, стараюсь быть в курсе всех её новинок. В версии *V13* получило свое развитие – теперь уже в качестве базового функционала системы – приложение для прочностных расчетов *APM FEM*, появившееся впервые в 12-й версии. Именно о первом опыте работы с этим приложением во время открытого бета-тестирования КОМПАС-3D *V13* и пойдет речь.

Библиотека прочностных расчетов открывает перед пользователями КОМПАС-3D совершенно новые возможности, тем самым повышая конкурентные преимущества системы перед другими САПР. Теперь инженер-конструктор, применяющий КОМПАС-3D в своем повседневном труде, может быть абсолютно уверен не только в правильности геометрической увязки деталей проектируемого узла, но и в обеспечении его прочности в процессе эксплуатации.

Интерфейс приложения прост и понятен с первого знакомства, особенно для опытных пользователей КОМПАС-3D. Панель инструментов прочностного анализа органично вписывается в привычный интерфейс системы. А вот дерево модели теперь стало более информативным – на дополнительной вкладке “Прочностной анализ” (вызывается командой “Показать панель расчетов”) содержится вся информация о закреплениях исследуемой модели, о приложенных к ней нагрузках и о конечно-элементной (КЭ) сетке. Кроме того, дерево модели включает в себя все карты результатов и формы собственных колебаний, выводимые для просмотра в течение всего периода работы с моделью в режиме конечно-элементного анализа. Правда, возможность сохранения карт результатов в файле модели задается отдельно. Таким образом, приложение для прочностных расчетов может быть особенно полезно тем, кто только начинает свое знакомство с системами, основанными на методе конечных элементов. Освоение работы с приложением не занимает много времени, что позволяет полностью сосредоточиться на особенностях задания граничных условий, нагрузок и параметров конечно-элементной сетки на реальных примерах.

Какие же задачи можно решать новым приложением КОМПАС-3D? Как и

анонсировалось при выходе новой версии продукта, это:

- задачи линейного статического расчета;
- расчета собственных частот и определения форм собственных колебаний;
- задачи стационарной теплопроводности и термоупругости;
- задачи по оценке устойчивости конструкций.

Для описания условий функционирования исследуемых узлов при выполнении расчетов, *APM FEM* предлагает возможность задать ряд нагрузок, действие которых может быть направлено на отдельные ребра конструкции, плоскости или поверхности, а также инерционные нагрузки, действие которых направлено на весь узел в целом. Среди видов инерционных нагрузок – линейное ускорение, угловая скорость и угловое ускорение, которые позволяют учесть линейное либо круговое перемещение исследуемой детали (узла, конструкции) в процессе эксплуатации.

Расчет собственных частот особенно полезен для деталей и узлов, работающих под воздействием внешних вибраций или возмущений. В этом случае необходимо сравнивать спектр собственных частот с частотами внешних возмущений, чтобы не допустить резонанса. Отмечу, что определение частот внешних возмущений относится к вопросам динамического анализа.

Расчеты теплопроводности позволяют учесть, как воздействует на конструкцию нагрев её отдельных поверхностей; задачи термоупругости возникают при исследовании влияния на напряженно-деформированное состояние узла нагрева совместно с другими нагрузками.

На мой взгляд, наиболее распространенной задачей при проектировании в машиностроении является именно выполнение линейного статического расчета. Остановимся на нём более подробно, рассмотрим несколько примеров анализа деталей и узлов. Начнем с расчета сборочных моделей опор (рис. 1, 2). Такие опоры на практике могут применяться, например, для размещения стрелы

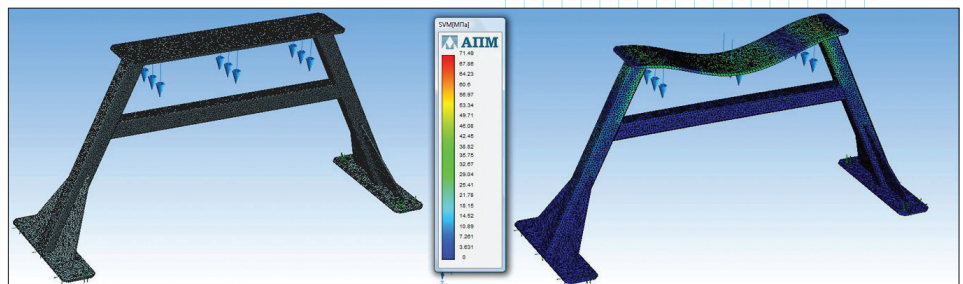


Рис. 1. Результат расчета опоры стрелы с плоской опорной поверхностью

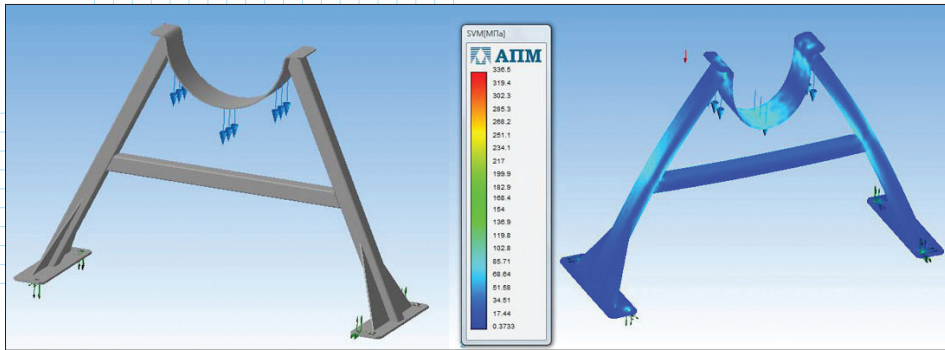


Рис. 2. Результат расчета опоры стрелы с цилиндрической опорной поверхностью

При выводе на экран любой из карт результатов расчета исследуемой конструкции (детали) отображается характер её деформаций. За величину отображения деформаций отвечает масштабный коэффициент, значения которого пользователь может изменять для повышения наглядности.

В качестве следующего примера рассмотрим процесс выбора с помощью инструментов *APM FEM* оптималь-

ного небольшого подъемного механизма с рабочим органом стрелового типа.

Оба примера идентичны как по конструкции, так и по подходам к расчету. Отличия состоят лишь в форме поверхности, к которой прикладывается нагрузка – задаваемая в ньютонах распределенная сила, обусловленная весом стрелы. В одном случае это будет плоскость, а в другом – элемент цилиндрической поверхности. Кроме того, следует отметить, что процесс расчета на прочность моделей сборочных единиц практически ничем не отличается от расчета моделей деталей – добавляется только необходимость указания совпадающих граней (жесткого контакта). Это не вызывает абсолютно никаких затруднений, поскольку система делает это автоматически перед разбиением модели на конечно-элементную сетку, если вы сами не сделали этого принудительно еще до генерации сетки.

В нашем случае для расчета были также заданы закрепления: зафиксированы крепежные отверстия под болты для закрепления опор на раме подъемного механизма. Фиксация крепежных отверстий была создана в направлении всех трех координат. На иллюстрациях (рис. 1, 2) приведены карты распределения суммарных эквивалентных напряжений в МПа (напряжений по Мизесу). По картам распределения напряжений видно, что наиболее нагруженными являются такие элементы, как сама опорная поверхность, места стыковок опорной поверхности и перемычки со стойками.

ной конструкции струбцины с точки зрения обеспечения равнопрочности по всему объему при минимальной массе. Возьмем несколько разных моделей струбцин (рис. 3): гнутая из толстолистового металла (а); две литые струбцины разной конструкции (b, c); сварная струбцина (d).

Выполним расчет на прочность при одинаковых параметрах закрепления и одинаковых приложенных нагрузках. Как видно на иллюстрации, с точки зрения равномерности распределения напряжений, наиболее оптимальным является вариант струбцины, изображенный на рис. 3b.

Кроме того, на этой модели струбцины нет ярко выраженных концентраторов напряжений, которые наблюдаются в вариантах c и d. Среди всех рассмотренных вариантов эта модель имеет наименьшую массу (при условии изготовления всех струбцин из материалов с идентичными массовыми характеристиками).

Максимальные эквивалентные напряжения, действующие в теле струбцины, в этом исполнении также будут наименьшими, по сравнению с другими рассмотренными конструкциями.

Учитывая разную технологию изготовления, абсолютно объективно в данном случае можно сравнивать только две литые струбцины. В итоге оказалось, что максимальные действующие напряжения в теле струбцины, конструкция которой была признана оптимальной, в три раза меньше, чем в струбцине-аналоге (рис. 3c), и при этом она в 1.2 раза легче аналога.

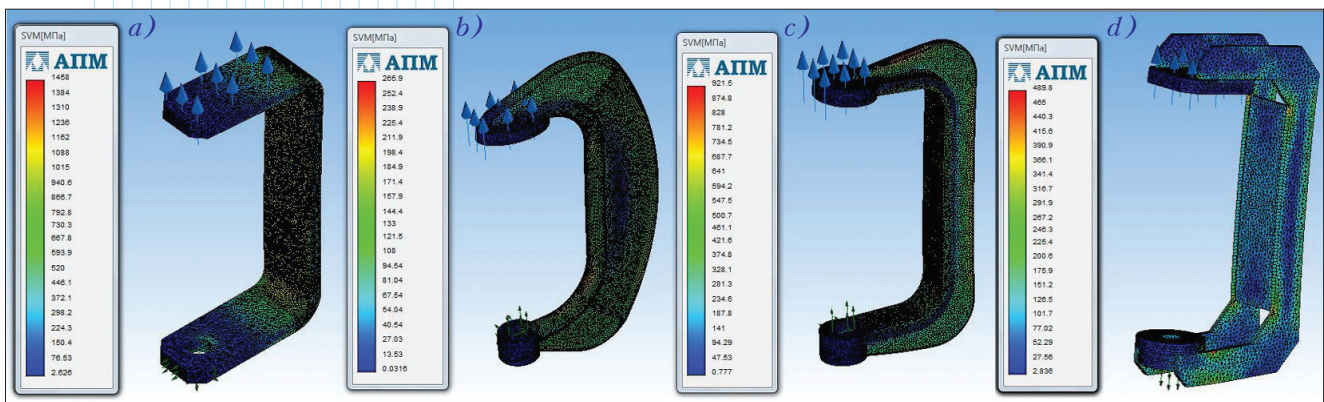


Рис. 3. Карты распределения эквивалентных напряжений в струбцинах различных конструкций

Таким образом, проектируя в системе КОМПАС-3D, при создании геометрической формы изделия теперь можно сразу учитывать его поведение под нагрузкой на основании результатов экспресс-анализа в *APM FEM*.

Из личного опыта знакомства с *APM FEM* могу сказать, что при попытке удаления приложенных закреплений или нагрузок следует быть внимательными, так как в случае выделения в дереве на вкладке “прочностной анализ” нужного элемента и нажатии клавиши “delete” удаляется не закрепление или нагрузка, а элементы модели, к которым они приложены. Выбранное закрепление или нагрузка удаляется путем выбора нужной команды из контекстного меню. А в остальной работе с панелью расчетов принципиально не отличается от работы с вкладкой геометрических построений дерева модели.

В качестве небольшого недостатка можно отметить то, что при автоматической генерации отчета по результатам расчетов в нём оказываются карты с неотредактированными параметрами диапазона результатов. Это негативно отражается на качестве визуализации карт результатов (в основном, это относится к коэффициентам запаса по прочности и по текучести). Необходимость редактирования параметров вывода результатов возникает вследствие того, что напряжения распределяются по объему модели неравномерно, и в отдельных местах могут практически отсутствовать. Таким образом, в этих местах коэффициенты запаса по прочности и по текучести могут достигать огромных значений, в то время как пользователя, наоборот, интересуют места, где коэффициент запаса минимален. Большей наглядности отображения карт распределения коэффициента запаса можно добиться путем задания более узкого диапазона результатов. Но, опять же оговорюсь, что при генерации отчета в него записываются карты результатов с диапазонами по умолчанию.

В отношении самого отчета могу сказать, что он довольно информативен и содержит всю информацию о проделанных расчетах: свойства материалов модели, параметры закрепления, нагружения, параметры созданной конечно-элементной сетки и, собственно, сами результаты расчетов.

Что касается расчетов для геометрически более сложных моделей, то в качестве примеров могу предложить результаты исследования напряженно-деформированного состояния крестовины офисного кресла (рис. 4), а также влияния давления в шине на диск автомобильного колеса (рис. 5).

При расчете крестовины офисного кресла закреплялись поверхности соприкосновения с осями колес. Нагрузка была приложена в виде распределенной по поверхности силы, учитывающей как вес оставшейся части кресла, так и вес владельца кресла. Учет силы тяжести во всех рассмотренных примерах осуществлялся путем задания

линейного ускорения величиной 9.81 м/с^2 , направленного перпендикулярно поверхности пола.

Приведенный расчет для автомобильного диска имеет скорее иллюстративный характер, так как в этом случае учитывать только давление воздуха совершенно недостаточно.

Следует отметить, что сильно увлекаться расчетами геометрически сложных моделей деталей и сборок в *APM FEM* не стоит, поскольку для того, чтобы стало возможно осуществить расчет, может потребоваться увеличить длину стороны

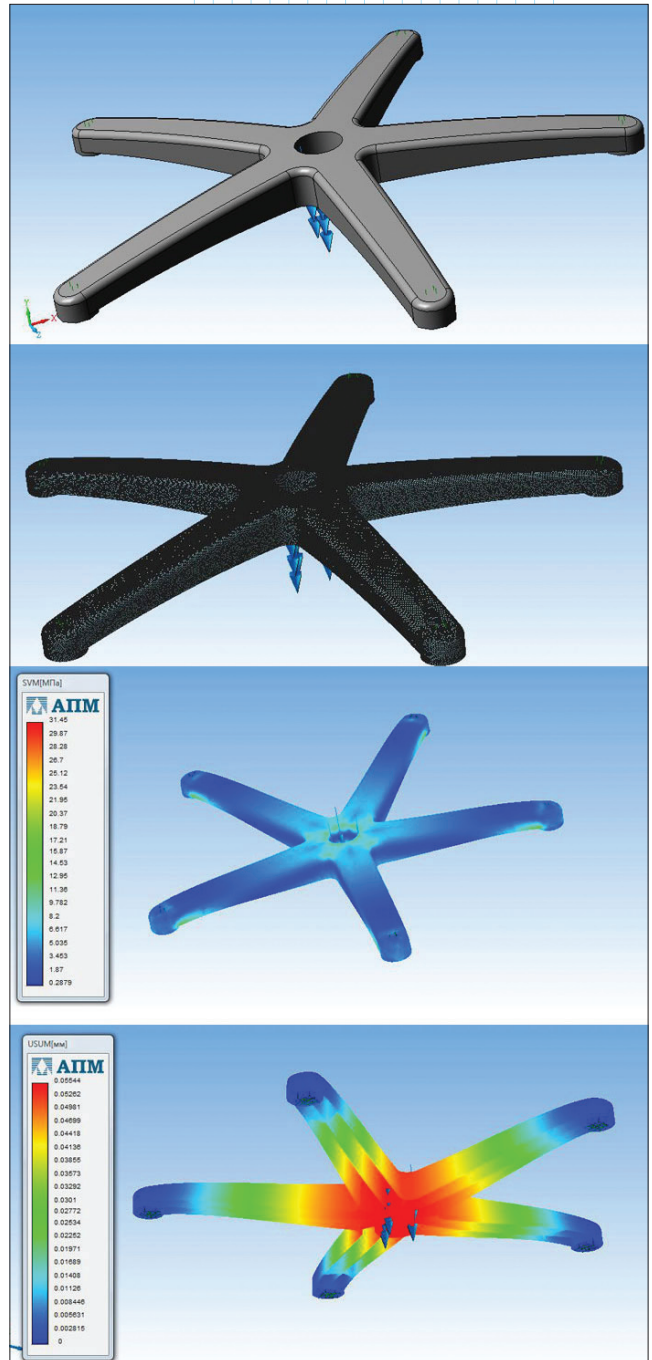


Рис. 4. Результаты прочностного расчета крестовины офисного кресла

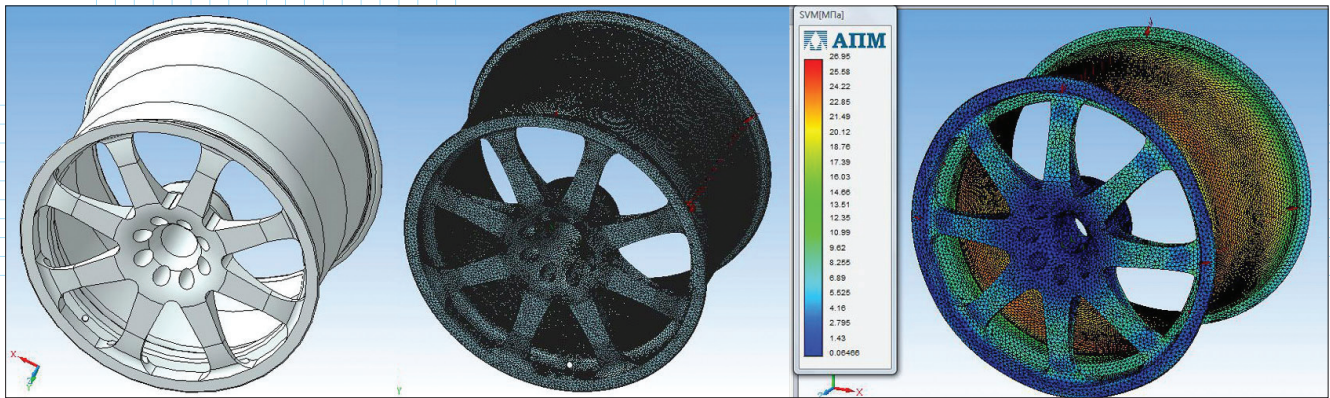


Рис. 5. Влияние давления воздуха в колесе на напряженно-деформированное состояние автомобильного диска

solid-элемента – это, несомненно, отрицательно отразится на достоверности и качестве результатов. В случаях, когда такие расчеты необходимы, компания **НТЦ АПМ**, разработчик *APM FEM*, рекомендует использовать *APM Structure3D*, который позволяет решать более широкий спектр задач.

APM Structure3D – это модуль прочностного анализа, который входит в состав системы автоматизированного проектирования *APM WinMachine*. Он полностью интегрируется с *APM FEM* в аспекте передачи полученной конечно-элементной сетки и наложенных граничных условий. К сожалению, возможности проверить на личном опыте уровень интеграции *APM FEM* и *APM Structure3D* путем передачи КЭ-сетки у меня не было.

В целом, от первого опыта знакомства с *APM FEM* у меня остались хорошие впечатления. Делая общее заключение о работе с библиотекой прочностных расчетов для КОМПАС-3D, могу выделить такие достоинства приложения, как:

- расширение функциональности базовой конфигурации системы КОМПАС-3D;
- простота и легкость освоения;
- гибкость настроек параметров отображения закрепления, нагрузок и результатов;
- сохранение ассоциативных связей между графическими и расчетными моделями при внесении изменений в конструкцию геометрической модели;
- отсутствие необходимости конвертации 3D-моделей в другие форматы;
- работа с расчетной моделью ведется непосредственно в окне системы КОМПАС;
- наглядность представления результатов.

Среди выявленных недостатков могу отметить:

- ограничения по формату вывода отчета экспресс-анализа – отчет доступен только в формате *HTML*;
- отсутствие возможности создания пользовательских отчетов;
- ограниченные возможности задания параметров контакта деталей в сборочных

моделях – поддерживается только жесткий контакт, который задается при поиске совпадающих граней;

- отсутствие анимированного представления результатов.

Хочется пожелать приложению *APM FEM* дальнейшего развития в направлении расширения функциональных возможностей, включая возможности управления отчетами. Среди других пожеланий – создание инструментария, способного, путем взаимодействия с механизмом параметризации геометрических объектов в КОМПАС-3D, просчитывать сразу несколько вариантов конструкции с разными размерами геометрических объектов, интересующих инженера. Для представления результатов при этом можно использовать, например, окно с ползунком (подобно окну управления предоставлением результатов разбиения модели на КЭ-сетку), отвечающим за изменение интересующих размеров в заданных пользователем пределах; при этом будет изменяться карта результатов. Безусловно, это “утяжелит” процесс расчетов, но зато избавит пользователя от необходимости последовательного выполнения нескольких идентичных расчетов.

В завершение хотелось бы добавить, что никто лучше не расскажет о новом приложении *APM FEM* и других новшествах системы КОМПАС-3D *V13*, чем собственный опыт освоения. Поэтому призываю всех, кого интересуют новинки в сфере САПР, последовать моему примеру и скачать пробную полнофункциональную версию системы КОМПАС-3D с официального сайта её разработчика, компании АСКОН, и в течение 30 дней, как говорится, “ни в чем себе не отказывать”. Кто знает, возможно, новый КОМПАС с приложением для прочностного анализа способен помочь вам в решении всех задач при проектировании. Надеюсь, что от работы с КОМПАС-3D в связке с *APM FEM* у вас останутся не только хорошие впечатления, но и практические результаты в виде оптимального распределения напряжений в спроектированной конструкции, а также уверенность в том, что прочность будет обеспечена на протяжении всего процесса её эксплуатации. 😊