

Программные продукты компании НТЦ «АПМ» — новые возможности и перспективы

Владимир Шелофаст, Сергей Розинский

В статье описан ряд основных новых возможностей современной 13-й версии систем автоматизированного проектирования APM WinMachine и APM Civil Engineering, выпускаемых в НТЦ «АПМ». Данные продукты уже давно вышли на рынок, но ежегодно проходят модернизацию с целью совершенствования интерфейса и функциональных возможностей. Представлены некоторые конкретные сведения о перспективных разработках компании в рамках развития созданных программных продуктов. Материал статьи будет полезен как действующим пользователям систем, так и потенциальным, которые стоят перед выбором современной CAE-системы.

Прошел очередной годовой цикл разработки, а это значит, что на выходе новая версия программных продуктов от НТЦ «АПМ» — систем автоматизированного проектирования для машиностроения и строительства: APM WinMachine и APM Civil Engineering под номером 13! Стоит ли быть суевверным и бояться версии с подобным номером или надо просто получше

ее узнать?! Постараемся в этом разобраться, изучив новые возможности в деталях!

Уже традиционно большинство новых возможностей и изменений происходит в модуле конечно-элементного анализа APM Structure3D. Этот продукт позволяет вести расчет напряженно-деформированного состояния, устойчивости, собственных и вы-

нужденных колебаний деталей и конструкций. Так как конкуренция на машиностроительном и строительном рынке постоянно растет, то спрос на подобное программное обеспечение, позволяющее вести оптимизацию изделий, тоже заметно повышается. Это параллельно обуславливает и большие запросы пользователей к возможностям продукта, что, несомненно, отражается в планах наших разработчиков.

Итак, начать описание хотелось бы с того, что близко глазу и мышке любого пользователя — интерфейсных новинок APM Structure3D!

Любому инженеру-расчетчику известно, что более 70% времени, задействованного на расчеты, уходит именно на создание расчетной модели. Удобный, дружелюбный интерфейс программы — это основная цель разработчика ПО, так как именно он может помочь сократить требуемые временные затраты. Количество команд и операций в APM Structure3D постоянно растет, и доступ к ним через главное меню и инструментальные панели становится затратным по времени, особенно для новичков,

Владимир Шелофаст

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

Сергей Розинский

Руководитель отдела продаж НТЦ «АПМ».

которые только осваивают продукт. В связи с этим очень кстати придется работа с контекстными меню, вызываемыми по правой кнопке мыши в режиме «выбора объектов». Они «привязаны» ко всем графическим элементам расчетных схем (узлам, стержням, пластинам, твердотельным элементам, упругим связям и т.п.). Эта возможность позволяет пользователю быстрее получить доступ к той или иной команде, которую он хочет применить к объекту, например, задать нагрузку, указать условия соединения или закрепления и т.п. (рис. 1).

В 13-й версии предложено начало оптимизации содержимого диалоговых окон в интерфейсе APM Structure3D. Возьмем, к примеру, диалоговое окно *Расчет*, которое мы видим каждый раз перед тем, как выбрать тот или иной тип расчета и запустить его. Поскольку

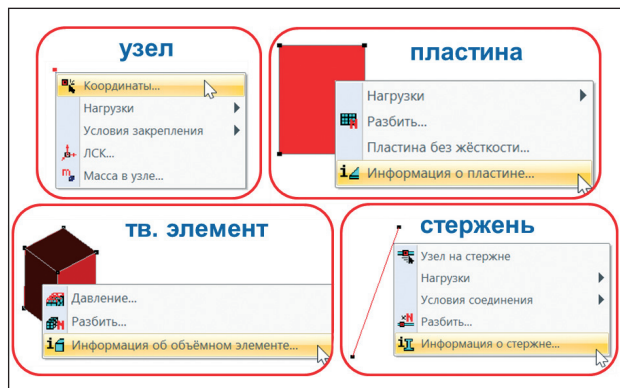


Рис. 1. Примеры контекстных меню для разных типов конечных элементов

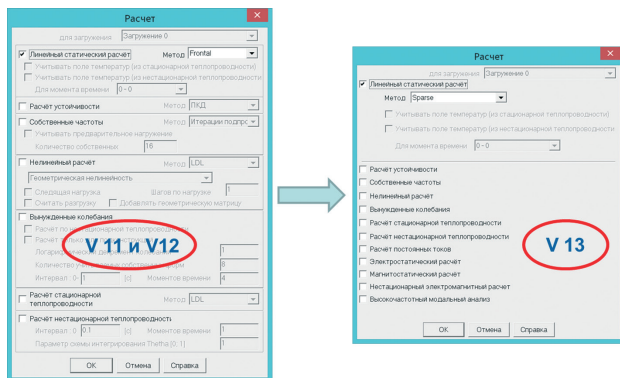


Рис. 2. Диалог *Расчет* после визуальной оптимизации

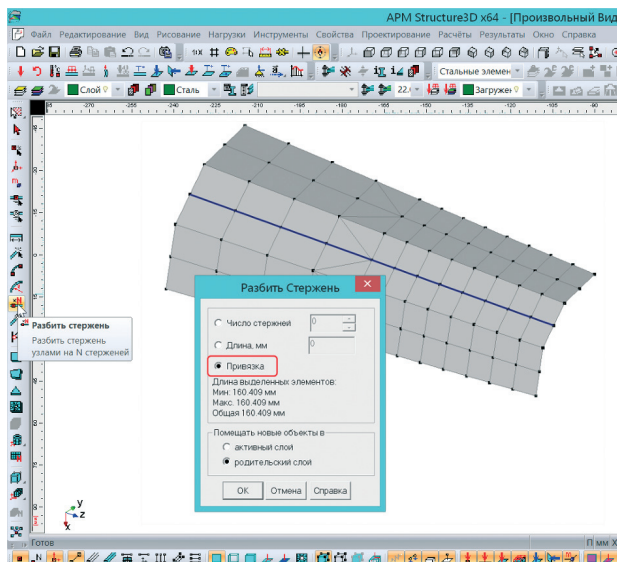


Рис. 3. Новая опция *Привязка* в операции *Разбить стержень*

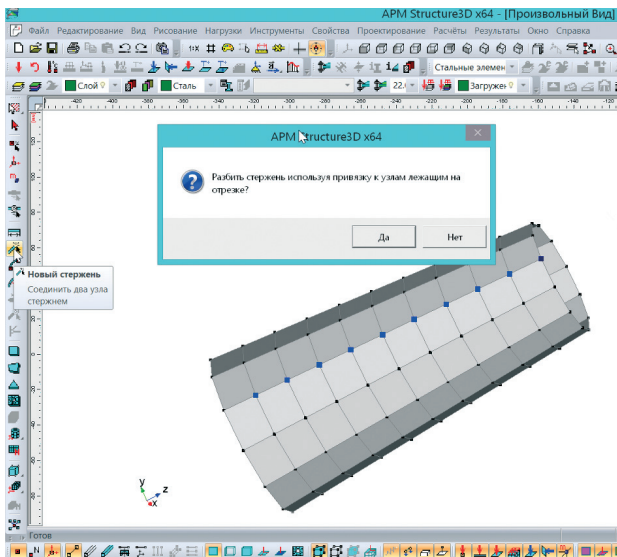


Рис. 4. Показ точек разбиения будущего стержневого элемента, рисуемого командой *Новый стержень*

спектр предлагаемых расчетов постоянно расширяется, то вынужденно происходит усложнение этого окна и увеличение его размеров. Естественно, это негативно сказывается на удобстве пользования! В 13-й версии проведена глобальная переработка, и... на выходе мы теперь имеем лаконичный диалог, разделы которого «раскрываются» по необходимости самим пользователем (рис. 2).

Одной из сильных сторон графической части модуля APM Structure3D является работа со стержневыми конструкциями. Стержневые конечные элементы применяются для моделирования металлоконструкций как в маши-

ностроении, так и в строительстве. Зачастую металлокаркас работает совместно с пластинчатыми элементами, которые дают ему дополнительную жесткость. И поскольку пластины в расчетной модели, как правило, подвергаются предварительному разбиению, то и стержни, с ними связанные, должны быть разбиты на соответствующие части. Теперь эта процедура разбиения может быть выполнена в автоматизированном режиме с использованием команды *Разбить стержень* (рис. 3). Также, если воспользоваться командой *Новый стержень* и нарисовать его проходящим по грани или плоскости разбитой пластины, то программа

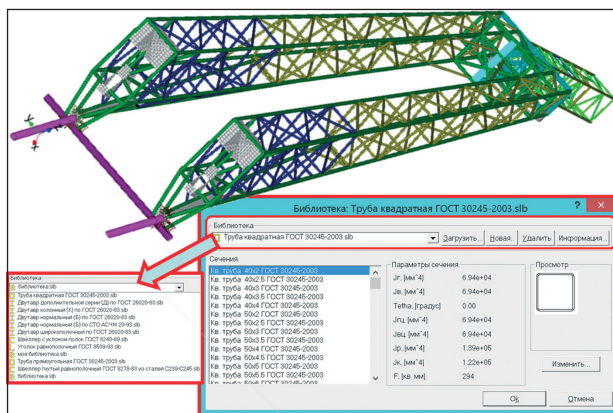


Рис. 6. Работа в обновленном диалоге *Библиотека*

сама предложит разбить стержень с привязкой к узлам, лежащим на его направлении (рис. 4).

Проведены изменения в диалогах *Сечения*, *Библиотека* с целью повышения удобства работы пользователя по выбору и заданию поперечных сечений стержневых КЭ. Диалог *Сечения*, например, сократился в два раза по ширине за счет возможности «скрывать/показывать» часть, в которой отображаются параметры сечения (рис. 5). В диалоге *Библиотека* появился раздел со списком библиотек. Это позволяет хранить ранее востребованные библиотеки сечений, чтобы сократить время доступа к ним (рис. 6).

В APM Structure3D добавлены новые панели: *Объекты* и *Свойства*. Они обеспечивают возможность быстрого доступа и удобного редактирования тепловых и электромагнитных нагрузок.

Кроме того, они позволяют добавлять, удалять и редактировать следующие объекты: материалы, пользовательские системы, координаты, таблицы и функции. После проведения нестационарного теплового расчета и любого электромагнитного расчета названные панели обеспечивают быстрый и удобный способ построения и настройки параметров карт результатов и просмотра анимации (рис. 7).

Для более детального анализа результатов в APM Structure3D реализована так называемая альтернативная карта результатов, которая позволит пользователю, чтобы сократить время доступа к ним (рис. 6).

В APM Structure3D добавлены новые панели: *Объекты* и *Свойства*. Они обеспечивают возможность быстрого доступа и удобного редактирования тепловых и электромагнитных нагрузок.

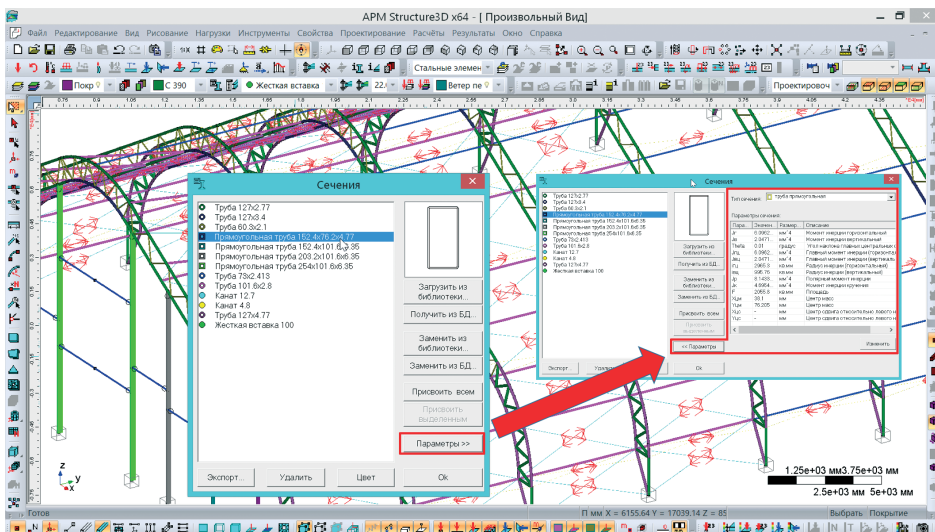


Рис. 5. Работа в обновленном диалоге *Сечения*

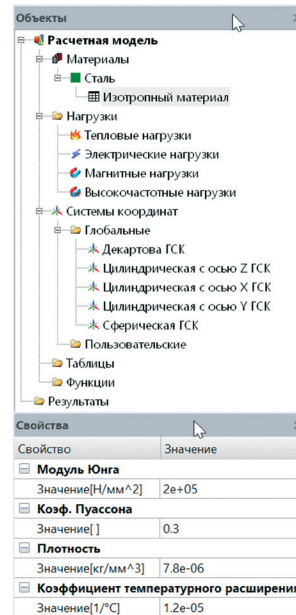


Рис. 7. Новые панели в APM Structure3D — *Объекты*, *Свойства*

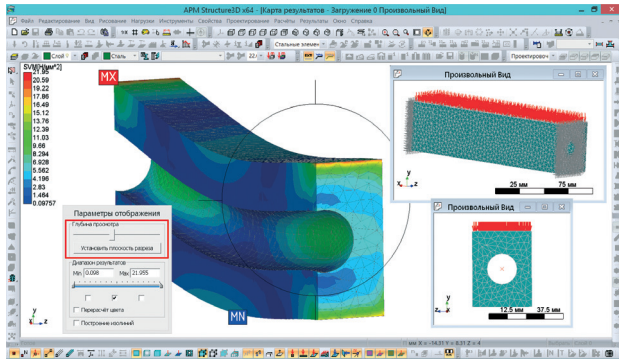


Рис. 8. Пример изменения Глубины просмотра карты результатов модели Studio, а теперь встроено и в наш основной расчетный модуль — APM Structure3D. При просмотре карт результатов добавляется специальное окно *Параметры отображения*. В данном окне пользователь ведет работу в трех разделах: *Глубина просмотра*, *Диапазон результатов*, *Построение изолиний*. Изменяя положение бегунка в разделе *Глубина просмотра*, мы можем «срезать» часть модели, что позволяет заглянуть внутрь, а также посмотреть распределение любых расчетных параметров (напряжений, перемещений и т.д.) «по сечению» модели (рис. 8). Если воспользоваться разделом *Диапазон результатов*, то, например, можно, сдвинув бегунки, визуально скрыть часть конечных элементов, значения параметров в которых больше/меньше указанного диапазона. Таким образом, наглядно видно, какие элементы не несут особой нагрузки, а значит, можно откорректировать геометрию модели с целью оптимизации ее массы (рис. 9). Построение изолиний позволит пользователю увидеть линии, на которых значения выводимого на карте параметра остаются постоянными. Опять же эту визуализацию можно использовать для наглядного показа мест модели, которые могут быть оптимизированы с точки зрения массы изделия (рис. 10).

В диалоге *Реакции в опорах* появилось цветное отображение максимальных/минимальных значений, а также возможность сортировки таблицы по возрастанию/убыванию в любом столбце значений при нажатии ЛКМ по заголовку. Также реализована возможность сохранения данных таблицы в буфер обмена и формат *.csv (файл с разделителями «точка с запятой»). Эти нововведения помогут пользователям легче ориентироваться в большом объеме текстовой информации, а также, при необходимости, вести редактирование таблицы в текстовых редакторах.

Не остается без внимания и главная тема — развитие функционала модуля APM Structure3D. В этой версии реализован новый тип конечного элемента — PIPE — для моделирования элементов

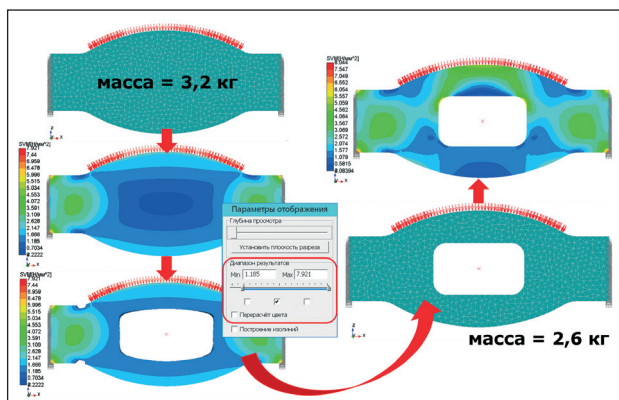


Рис. 9. Пример оптимизации конструкции с применением механизмов интерактивного изменения Диапазона результатов в окне *Параметры отображения* карты результатов

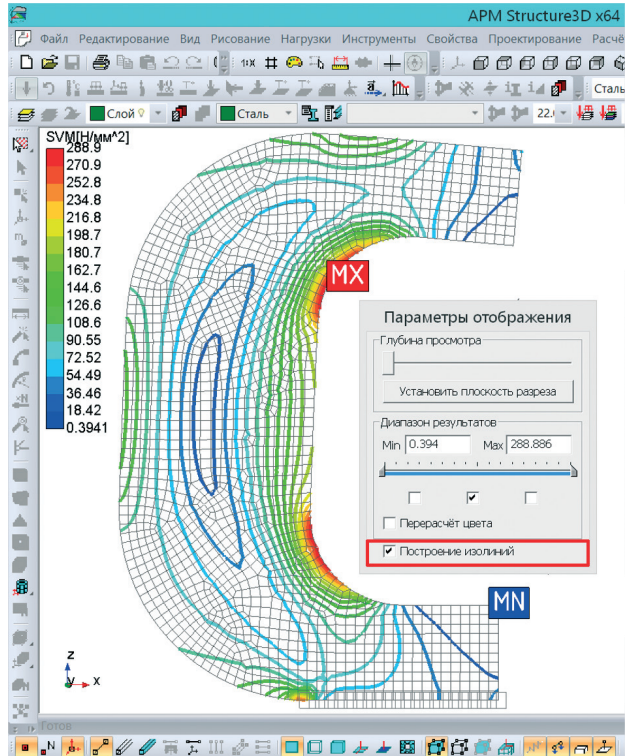


Рис. 10. Пример вывода карты результатов напряженного состояния в виде изолиний

трубопроводов (прямолинейный участок, тройник и отвод). Для работы с ними создана специальная панель инструментов. PIPE-элементы имеют собственные атрибуты, которые можно задать в окне *Моделирование трубопроводов* (рис. 11). Там же задаются условия нагружения (например, внутреннее и внешнее давление) на элемент трубопровода. Стоит отметить, что специализированный функционал работы с трубопроводами еще будет дорабатываться и развиваться в последующих версиях наших продуктов, в том числе и по пожеланиям наших потенциальных пользователей.

Пример применения новых элементов можно увидеть на рис. 12. Важной составляющей, предельно важной в современной расчетной системе, является раздел нелинейного анализа. В связи с этим новая версия получила развитие. Во-первых, в ней улучшен алгоритм геометрически нелинейного расчета для стержневых конечных элементов. Теперь возможно провести расчет конструкции при больших перемещениях (допустимые углы поворота больше 60 градусов). Пример вывода результатов нелинейного расчета изгиба балки в масштабе 1:1 приведен на рис. 13. Во-вторых, добавлена

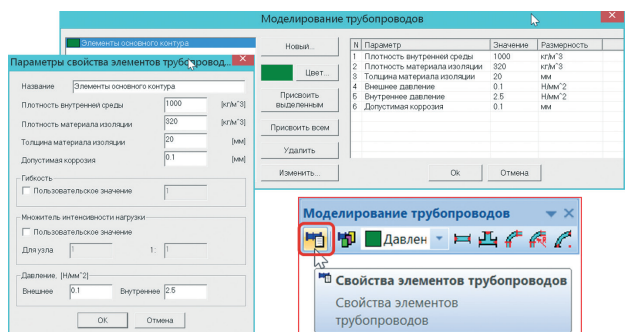


Рис. 11. Новая специализированная панель и диалоги ввода свойств для моделирования трубопроводов

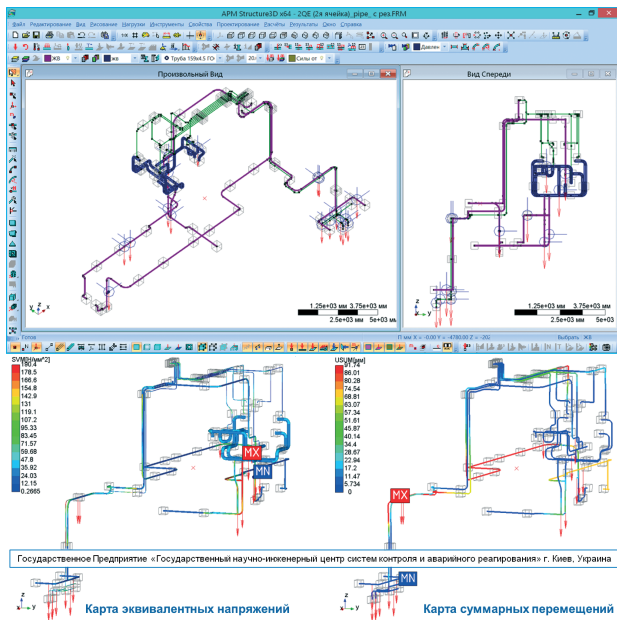


Рис. 12. Пример расчетной модели трубопроводной системы с выводом карт результатов

возможность задания зависимости механических свойств материала от температуры, а именно: модуля Юнга, плотности, коэффициента температурного расширения и т.д. Учет данных эффектов реализован в нелинейном расчете с учетом физической нелинейности, а также в нестационарном тепловом расчете. Это позволит вести расчеты конструкций, работающих при охлаждении или нагреве с учетом реалистичного поведения материала в условиях переменных температур. И, в-третьих, при работе со строительными конструкциями реализован расчет грунта с учетом физической нелинейности по модели Друкера — Прагера (грунт моделируется твердотельными конечными элементами).

В 13-й версии разработчики снова сделали доступной опцию по

расчету остаточных деформаций и напряжений в твердотельных моделях после моделирования «разгрузки». Для этого необходимо в диалоге *Расчет* выбрать позицию *Нелинейный расчет*. Далее можно пойти двумя путями. Выставить опцию *Физическая нелинейность (ТМУПД)* с дополнительным флажком *Считать разгрузку*. При этом в результатах расчета пользователь увидит информацию и по нагруженному состоянию модели, и по тому, что с ней будет после снятия усилия. Второй вариант — выставить опцию *Физическая нелинейность (т.течения)*. В этом случае пользователь увидит результаты по «нагруженному» состоянию, а если поставлен флажок *Считать разгрузку*, то состояние после того, как нагрузку сняли. Пример расчета конструкции в



Рис. 13. Пример вывода результатов нелинейного расчета. Карты суммарных перемещений в масштабе М 1:1

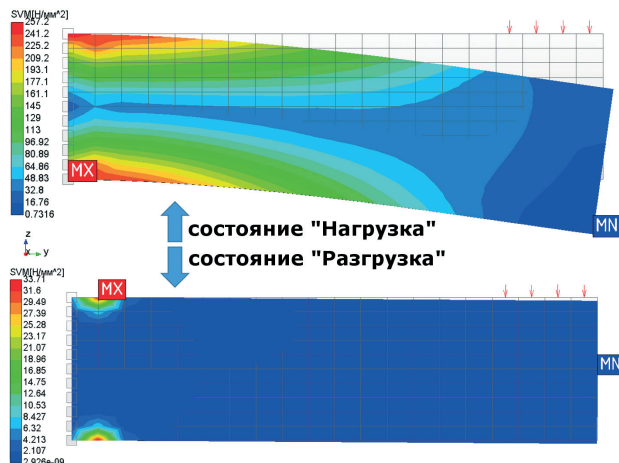


Рис. 14. Пример вывода результатов нелинейного расчета. Карты напряженного состояния для состояния *Нагрузка* и *Разгрузка*

«нагруженном» и «разгруженном» состоянии показан на рис. 14.

Расчетный анализ объектов, работающих при переменных нагрузках, не обходится без вычисления собственных частот, при совпадении с которыми внешняя нагрузка может вызывать резонанс. В новой версии добавлено два новых расчетных метода: «Итерации подпространств (Sparse) без ортогонализации» и «Ланцош». Данные методы обеспечивают большую скорость вычислений по сравнению с имеющимися в предыдущей, 12-й версии.

Зачастую, проводя моделирование сложной расчетной схемы, конструктор может столкнуться с необходимостью сочетания в одной конструкции конечных элементов разных типов. Например, при расчете металлоконструкции

для экономии в размерности задачи применяют смешанные схемы из стержневых и пластинчатых конечных элементов. Не обойтись без пластин и в случае, когда профили металлокаркаса имеют по своей длине перфорацию. Соединение участка балки, созданного из пластин, с участком, который моделируется обычным стержнем, будет производиться с помощью «жестких вставок» (стержней с большой площадью поперечного сечения и малой плотностью материала). Сложность возникает в том, что точка соединения — это центр масс сечения. И если сечение имеет сложную форму, то ее нахождение весьма проблематично. В этом вопросе окажется кстати специализированный функционал, который также был реализован в 13-й версии, — процедура

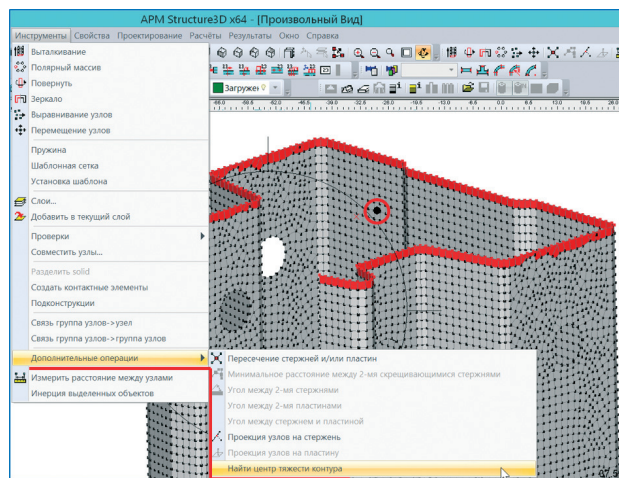


Рис. 15. Результат работы команды *Найти центр тяжести контура* — автоматическая установка узла в центр тяжести сечения элемента металлоконструкции

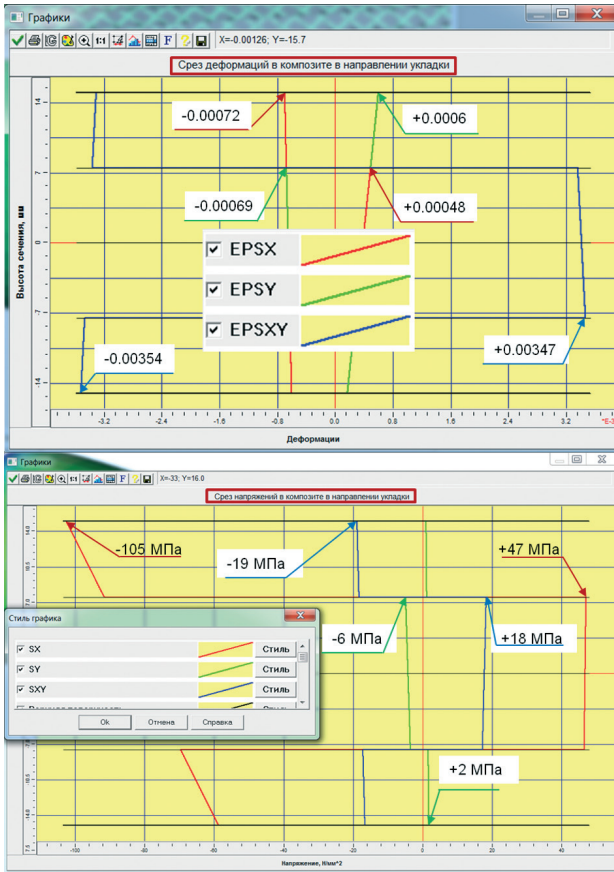


Рис. 16. Графики, характеризующие распределение напряжений и деформаций по сечению композита

нахождения центра тяжести контура сечения, смоделированного из пластинчатых конечных элементов. Для ее работы достаточно выделить все пластины и узловые точки на торце балки, и в центре масс сечения автоматически появится узел. Он и будет точкой соединения стержневой и пластинчатой частей конструкции в общую расчетную модель (рис. 15).

Еще один раздел новинок посвящен теме расчетов конструкций из композиционных материалов.

Здесь в качестве основных позиций выделим следующее:

- реализован вывод послойных значений напряжений и деформаций (рис. 17) (предыдущая версия показывала значения только для верхней, нижней, а также средней поверхности);
- проводится расчет значений коэффициентов запаса по предельным напряжениям, деформациям или по критерию Цзя — Хилла;

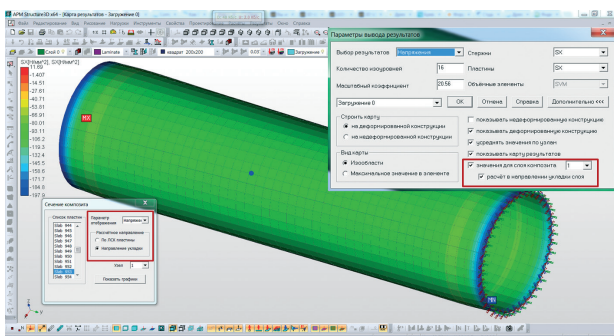


Рис. 17. Демонстрация напряжений в направлении укладки слоя, выбранного пользователем

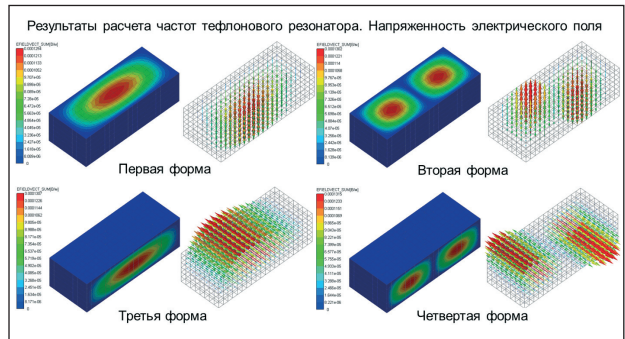


Рис. 18. Пример вывода результатов после проведенного высокочастотного модального анализа

- возможен срез сечения в заданном узле пластинчатого КЭ по значениям напряжений или деформаций в направлении укладки или ЛСК КЭ (рис. 16 и 17).

Расширяя линейку предлагаемых типов расчетов, в 13-й версии разработчики НТЦ «АРМ» добавили в модуль APM Structure3D возможности по моделированию и анализу электромагнитных полей. Данные расчеты пока функционируют в «тестовом» режиме, но уже сейчас пользователю доступен весьма широкий спектр для выбора, а именно:

- электростатический расчет — позволяет рассчитывать характеристики стационарного электрического поля в диэлектриках;
- расчет поля постоянных токов — позволяет рассчитывать характеристики квазистационарного электрического поля в проводниках;
- магнитостатический расчет — позволяет рассчитывать харак-

теристики стационарного магнитного поля в магнитопроводяемых материалах;

- нестационарный электромагнитный расчет — позволяет рассчитывать характеристики электромагнитного поля при переходных процессах в электротехнических устройствах;
- высокочастотный модальный анализ — позволяет рассчитывать частоты среза и соответствующие им формы электромагнитного поля для СВЧ структур (рис. 18).

Конечно, развитие происходит не только в модуле APM Structure3D. В частности, все новые расчетные алгоритмы также встроены и в модуль APM Studio (пре- и постпроцессор для расчета трехмерных твердотельных и оболочечных моделей). Для статического анализа тел вращений (валы и оси), а также элементов рычажных механизмов, смоделированных твердыми телами, теперь воз-

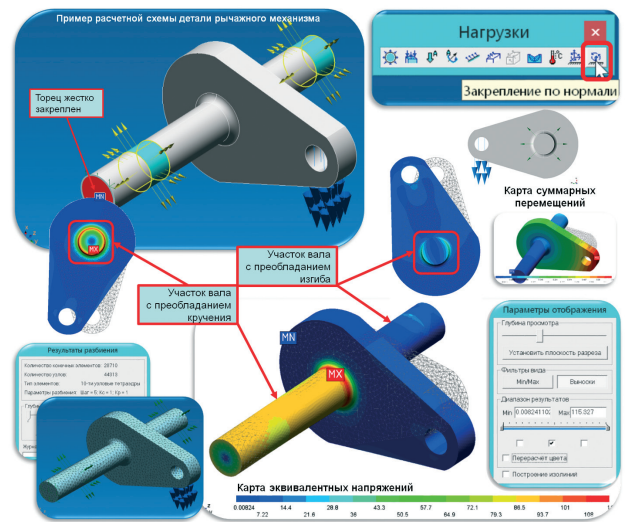


Рис. 19. Пример применения новой операции **Закрепление по нормали** в модуле APM Studio



Рис. 20. Общая фотография гостей с ежегодного Форума пользователей 2015, проводимого компанией НТЦ «АПМ»

можно применить новую операцию *Закрепление по нормали*. Данная опция доступна в модуле APM Studio и, в отличие от предыдущей операции *Закрепление*, работающей только по осям глобальной системы координат, позволяет закрепить «по нормали» любую криволинейную поверхность, произвольно расположенную в пространстве. И если таким образом закрепляется, например, цилиндрическая поверхность вращения (участок вала под подшипником или ось, соединяющая два звена механизма), то ее перемещение в пространстве будет ограничено, а вот вращение вокруг собственной оси — нет, что и требуется для моделирования подобных случаев (рис. 19).

Для применения модулей инженерного анализа (APM Trans, APM Spring, APM Joint) в области приборостроения были расширены границы диапазонов входных параметров. В первую очередь это коснулось нижней границы, так как приборостроители, как правило, работают с конструкциями малых размеров.

Конечно, описать в рамках одной статьи все новинки не представляется возможным, поэтому предлагаем ознакомиться с ними на нашем сайте www.apm.ru в разделе «ПРОДУКТЫ/Релизы версий».

Более подробно новая версия и ее возможности были представлены разработчиками на ежегодном «Форуме пользователей 2015». Как обычно, в теплые майские дни в чудесном уголке Подмосквья —

доме отдыха «Пялово» компания НТЦ «АПМ» собрала своих пользователей, чтобы познакомить их с возможностями новой, 13-й версии программных продуктов для автоматизированного проектирования и расчета в области машиностроения и строительства — системами APM WinMachine и APM Civil Engineering. Мы всегда с особым интересом ждем этого времени, так как появляется уникальная возможность живого общения разработчиков и пользователей (рис. 20). Текущий, XIV Форум показал заинтересованность пользователей в развитии наших программных продуктов, а также дал возможность послушать и увидеть, как люди применяют их на практике! Все желающие могут ознакомиться с материалами Форума на нашем сайте в блоке «НОВОСТИ» в подразделе «Форум пользователей». От руководства и всех сотрудников компании НТЦ «АПМ» хочется выразить огромную благодарность пользователям, которые смогли приехать к нам в гости и активно участвовать в деловой и развлекательной программе Форума! Мы желаем всем дальнейшего творческого роста и развития совместно с продуктами нашей компании!

В завершение статьи хочется ознакомить читателей с некоторыми планами, которые компания реализует в настоящее время.

В частности, сейчас идет доработка программы расчета композиционных материалов в направлении выбора оптимальной ориентации армирующих элементов,

Реклама



**Оптимальные решения
в строительстве и машиностроении**



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



а также расчета несимметричных композиционных структур. Также в системе появятся инструменты расчета материалов за пределом прочности. Расчеты будут выполняться для изотропных, ортотропных, анизотропных материалов и композитов. Это задачи механики разрушения, которые моделируют поведение трещин, их развитие и прогнозирование общей прочности элементов конструкции в этом диапазоне эксплуатационных нагрузок. В результате завершения работ по прогнозированию трещиностойкости появится возможность надежно эксплуатировать конструкции при нарушении сплошности, которые не способны вызвать разрушение. Задачи механики разрушения крайне интересны при моделировании процессов металлообработки.

Разрушение металла при резании принципиально не отличается от разрушения при нагружении за пределом прочности, а методы их прочностного анализа просто аналогичны. Кроме того, методы разрушения можно использовать при моделировании быстротекущих процессов.

С процессами оценки вклада конечных элементов в общую характеристику прочности связано понятие топологической оценки конструкции. Такой подход к топологии определяет топологическую оптимизацию. Механизмы топологической оптимизации должны также появиться уже в следующей версии наших систем.

Планируется завершить работы по созданию процедуры автоматической генерации гексагональных конечных элементов первого и

второго порядков (10-, 20-узловых). В настоящее время эта процедура выполняется только в ручном режиме.

Подвергнется существенной доработке и программа моделирования динамики механизмов. Здесь будут реализованы прямые методы интегрирования уравнения движения. При этом звенья механизмов могут рассматриваться как абсолютно жесткими, так и упругими.

В следующем году должна завершиться большая работа по созданию программного обеспечения для расчета механики жидкости и газа. Эта работа длится уже много лет, и сейчас процесс разработки вступил в финальную стадию.

В завершающей стадии — работа по созданию продуктов, объединенных тематикой «Схе-

мотехнические решения». Речь идет о программе расчета электротехнических, электронных схем их механических аналогов и схем, описывающих функционирование систем автоматического управления.

Специализированный архитектурный редактор планируется дополнить специальными процедурами для расчета железобетона. Это касается, прежде всего, визуализации арматуры и формирования чертежей колонн, ригелей, стеновых панелей и всевозможных перекрытий. Кроме всего прочего, планируется поддержка IFC-формата обмена.

При создании последующей версии будет реализовано много иных процедур — более мелких по объему, но не менее полезных для практики. ►