

НТЦ «АРМ» — обновляем свой САПР снаружи и изнутри!

Сергей Розинский

После некоторой паузы хотелось бы возобновить знакомство читателей с российскими системами автоматизированного проектирования АРМ WinMachine и АРМ Civil Engineering, которые разрабатываются Научно-техническим центром «АРМ».

В 2014 году наша компания выпустила очередную, 12-ю версию систем АРМ WinMachine и АРМ Civil Engineering. Несомненно, и опыт наших пользователей, и собственный опыт использования ПО для выполнения реальных расчетных проектов был учтен в современных разработках компа-

нии и тех новых возможностях, которые появились в обновленных версиях продуктов. Но, обо всем по порядку...

В последнее время наибольшим спросом и популярностью пользуются наши модули прочностного анализа. Интерес к ним вполне обоснован, учитывая сложность современных конструкций как в машиностроительной, так и в строительной области, а также меру ответственности за их сооружение и бесперебойную эксплуатацию.

Этим объясняется то, что в последний год были проведены серьезные изменения и дополне-

ния именно в модулях, предназначенных для оценки напряженно-деформированного состояния,

Сергей Розинский

Руководитель отдела продаж НТЦ «АРМ».

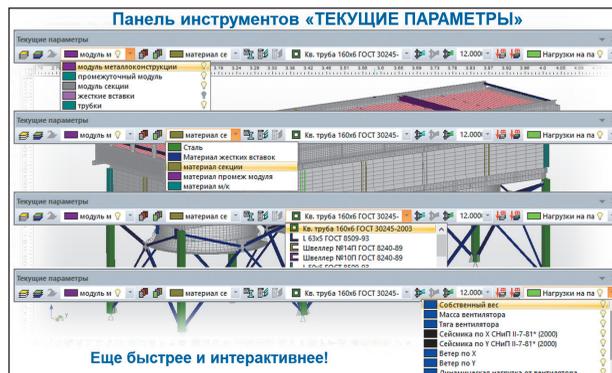


Рис. 2. Обновленная панель инструментов *Текущие параметры*

устойчивости, собственной и вынужденной динамики конструкций.

Большое внимание было уделено интерфейсной части модуля АРМ Structure3D. Обновлено окно заставка (splash screen) — теперь по нему можно сразу визуально различить строительную и машиностроительную модификацию данного модуля (рис. 1).

На панели инструментов *Текущие параметры* добавлено цветное отображение слоев, материалов, сечений и загрузжений. При этом имеется возможность интерактивного регулирования отображения слоев и загрузжений, а также изменения цветовых настроек слоя, материала, загрузжения (рис. 2). Эти возможности не

только позволяют сделать работу пользователя удобнее, но и реально экономят до 40% рабочего времени при построении сложных расчетных схем.

В наиболее востребованном разделе модуля — работа с металлоконструкциями — тоже произошли некоторые изменения, в частности при повороте сечения стержневого элемента конструкции оно отображается со смещением относительно центра масс, если таковое ранее было задано пользователем (рис. 3).

Для быстрой проверки нагрузок, заданных на стержневые конечные элементы, реализована специализированная панель. Она позволяет визуализировать зна-

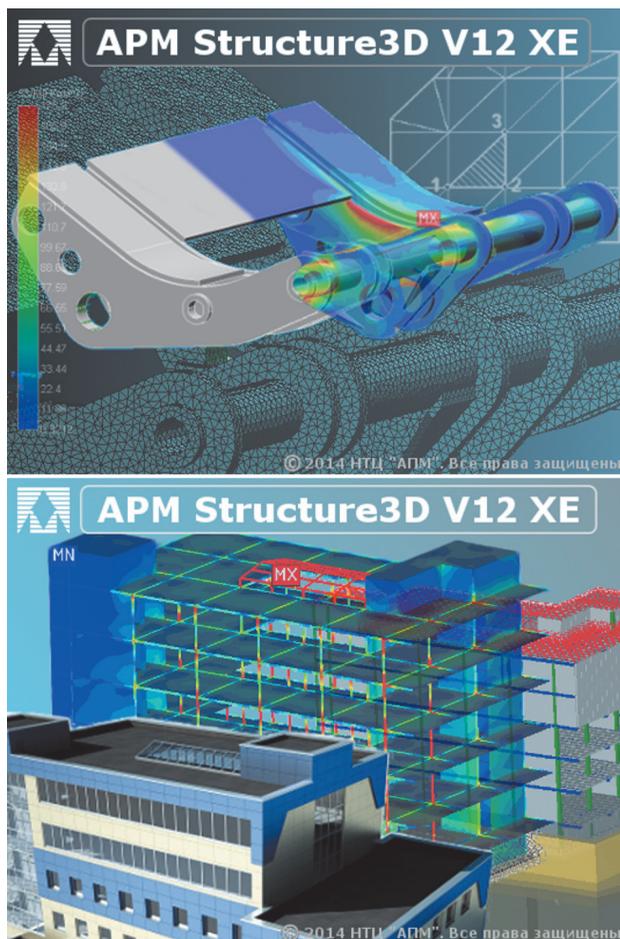


Рис. 1. Обновленный splash screen модуля АРМ Structure3D



Рис. 3. Отображение поперечного сечения стержня при его повороте с учетом заданного эксцентриситета

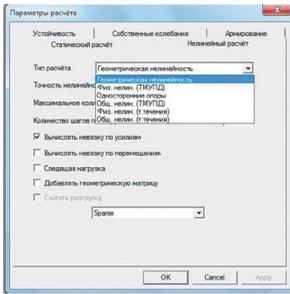


Рис. 9. Окно настроек *Параметры расчета* для нелинейного анализа

расчета. Упрощенно данный процесс продемонстрировано на рис. 8.

Существенной доработке подвергся раздел нелинейного анализа. В текущей, 12-й версии существуют возможности проведения расчета с учетом:

- **геометрической нелинейности** (большие перемещения при линейных свойствах материала) — реализован для всех видов КЭ: стержневых, пластинчатых и 4-, 6-, 8- и 10-узловых объемных КЭ;
- **физической нелинейности** (учет нелинейных свойств материала) при линейном геометрическом расчете в области малых перемещений — только для 4-, 6- и 8-узловых объемных КЭ;
- **общей нелинейности**. Этот вид нелинейного расчета позволя-

ет одновременно провести два вида расчета — расчет геометрической нелинейности (большие перемещения) с учетом физической нелинейности, то есть с учетом нелинейных свойств материала только для 4-, 6- и 8-узловых объемных КЭ;

- **односторонних опор**. Линейный расчет при линейных свойствах материала и малых перемещениях. При этом определяются «работающие» односторонние опоры;
- **контактного взаимодействия** (при линейных свойствах материала в области малых перемещений).

В модуле APM Structure3D v. 12 добавлен новый тип нелинейного расчета — расчет физической и общей нелинейности по теории течения. Пользователь имеет возможность выбрать, по какому типу проводить расчет физической нелинейности:

- по теории малых упруго-пластических деформаций (ТМУПД);
- теории течения.

На рис. 9 показано окно настройки параметров нелинейного расчета модуля APM Structure3D.

Особенности метода расчета физической нелинейности по теории течения (по сравнению с ТМУПД):

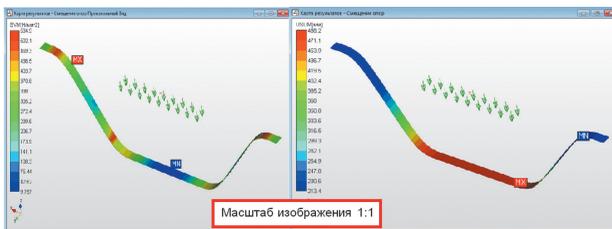


Рис.10. Пример вывода результатов нелинейного расчета

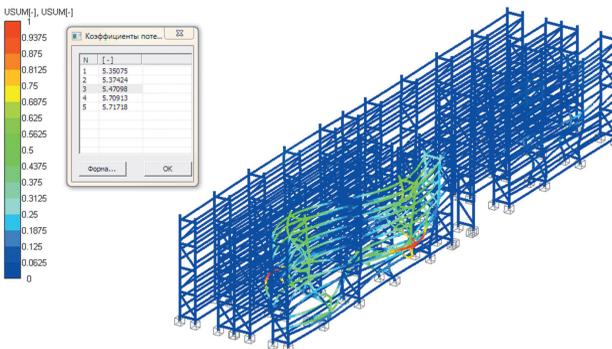


Рис. 11. Третья форма потери устойчивости металлоконструкции стеллажа (Метод Ланцоша)

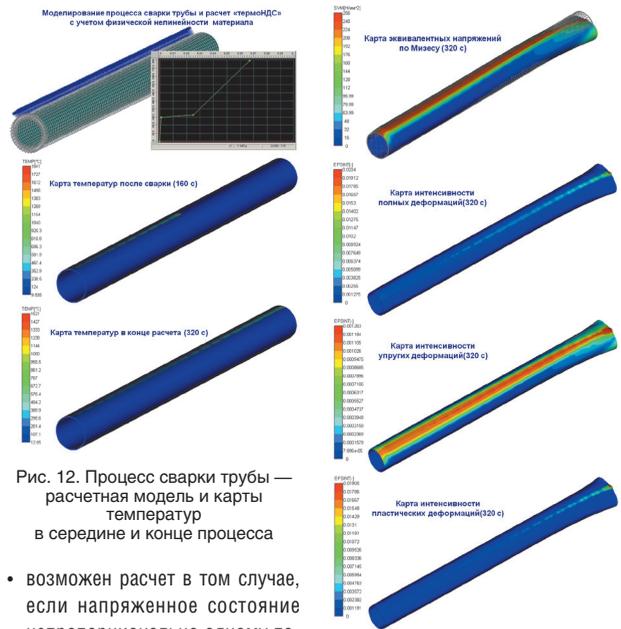


Рис. 12. Процесс сварки трубы — расчетная модель и карты температуры в середине и конце процесса

- возможен расчет в том случае, если напряженное состояние непропорционально одному параметру;
- близкий к реальному метод нагружения — идет «пошаговая догрузка» и накопление деформаций в процессе расчета;
- решаются задачи с большими пластическими деформациями;
- учитывается «история» предыдущих шагов нагружений.

На рис. 10 показан пример результата расчета гибкой металлической полосы после проведения расчета с учетом общей нелинейности.

Расчет устойчивости — еще один расчет, которому было уделено особое внимание. В 12-й версии увеличен список методов расчета. Теперь их пять:

Рис. 13. Карты напряжений и деформаций после окончания процесса сварки

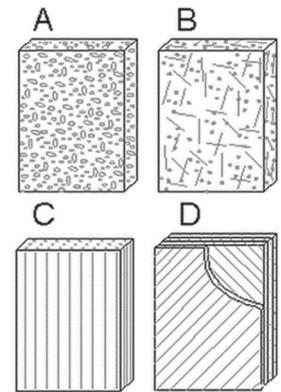


Рис. 14. Виды композиционных материалов

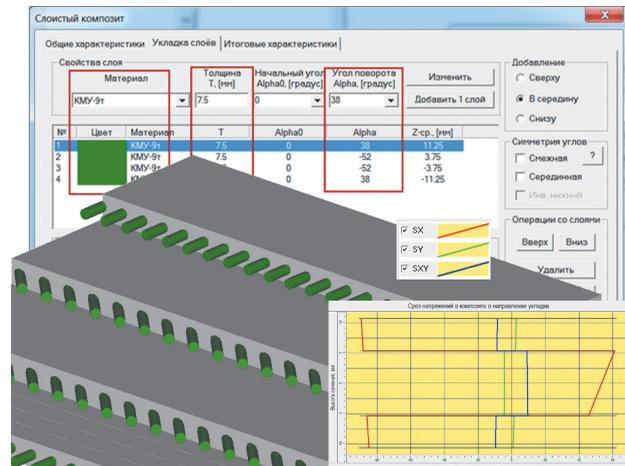


Рис. 15. Пример окна задания свойств композита и вывода результатов расчета его напряженного состояния

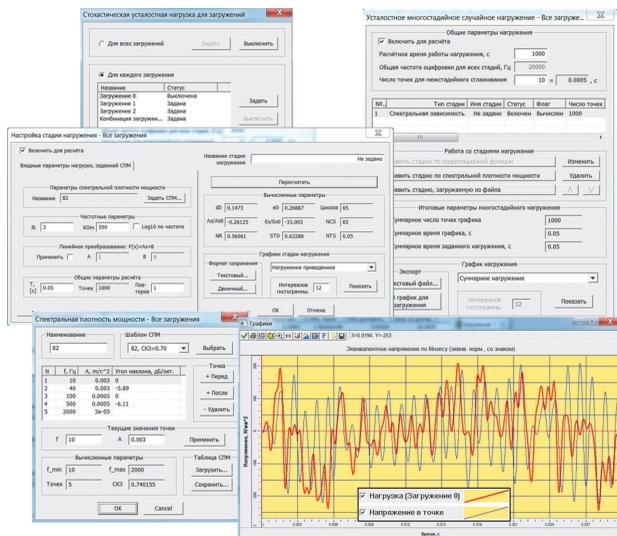


Рис. 16. Работа в диалоговых окнах при проведении усталостного расчета

- итерации Арнольди (только для 32-разрядной версии);
- ПКД (поиск корней детерминанта);
- метод Ланцоша;
- метод FEAST;
- ПКД (Sparse) (поиск корня детерминанта).

Следует отметить, что поскольку расчет на устойчивость относится к нелинейным, он выполняется только для одного нагружения или одной комбинации нагружений. Каждый из методов имеет свои особенности, которые описаны в руководстве пользователя. За счет применения того или иного метода у пользователя существенно расширяются рамки возможностей при проведении расчетов устойчивости различного рода конструкций (рис. 11). При этом сами расчеты можно проводить более рационально, используя современные и быстрые расчетные алгоритмы.

Помимо прочностного анализа достаточно популярен раздел анализа теплового. Тепловые расчеты в наших продуктах реализованы в двух вариантах: теплопроводная и нестационарная теплопроводность.

Для выполнения процедур теплового расчета предусмотрены механизмы задания:

- локальных температур;
- тепловых потоков;
- конвекционных параметров теплообмена;
- параметров теплоизлучения.

При этом в рамках выполнения данных расчетов возможно получить:

- расчет температур в любой точке модели конструкции в условиях установившегося теплового режима эксплуатации;
- расчет температур в любой точке модели для переменного во времени эксплуатационного режима;
- визуализацию результатов расчета в форме температурных карт — как на поверхности, так и в поперечном сечении модели;
- анимационное представление результатов расчета в случае нестационарной теплопроводности и теплообмена.

Пример применения теплового расчета показан на рис. 12 и 13.

В 12-й версии продолжается развитие и некоторых специфических разделов. В частности, расчеты конструкций из композиционных материалов, обладающих следующими свойствами:

- ламинат — слоистый композиционный материал (материал D на рис. 14) структурно состоит из определенного числа связанных воедино ортотропных слоев (материал C). Направление ортотропной симметрии слоев задается в плоскости пластины;
- пластина имеет малую по сравнению с другими размерами постоянную толщину;
- все слои работают в упругой зоне;
- отсутствует проскальзывание между монослоями;

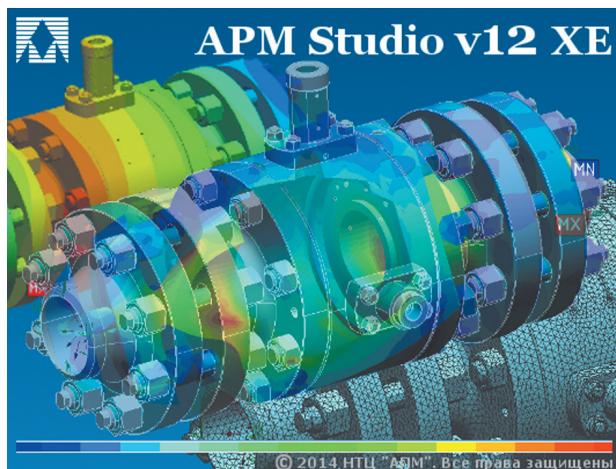


Рис. 17. Обновленный splash screen модуля APM Studio

- перемещения в плоскости пластины малы по сравнению с толщиной;
- деформации и напряжения в поперечной пластине плоскости незначительны;
- поперечные перемещения точек ламината есть линейные зависимости от вертикальной координаты.

Расчет НДС элементов из такого материала производится по классической теории ламинатных пластин (Basics of Laminate Theory) — рис. 15. Редактирование свойств анизотропного материала и слоистого композита реализовано в диалоге свойств материала.

Началась реализация принципиально нового вида усталостного расчета, учитывающего стохастическое нагружение. В диалоге «Усталостное многостадийное случайное нагружение» пользователь имеет возможность комбинировать несколько стадий нагружения, каждая из которых обладает своими статистическими параметрами. Реализовано три варианта в задании типов стадий:

- стадия, заданная по корреляционной функции;
- стадия, заданная спектральной плотностью мощности;
- стадия, загружаемая из файла, созданного сторонним приложением в одном из текстовых форматов.

На основе синтезированной стохастической нагрузки от времени осуществляется расчет распределения напряжений схематизацией «методом дождя». Гистограмма нагрузки от числа полуциклов приводится к эквивалентному

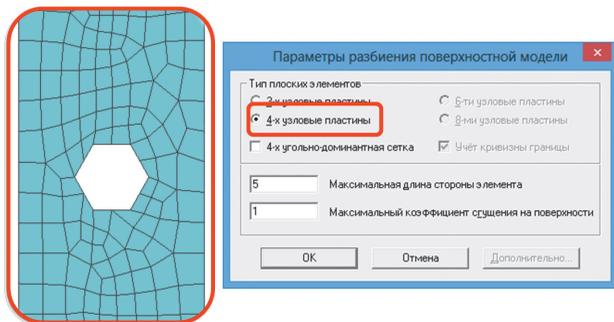
синусоидальному посредством скорректированной линейной гипотезы суммирования усталостных повреждений при нерегулярном нагружении (рис. 16). На основе этих величин вычисляются коэффициенты запаса по числу циклов.

Для расчета прочности отдельных деталей и узлов, спроектированных в сторонних трехмерных графических пакетах, модель обычно импортируется в модуль APM Studio. В связи с этим он тоже активно развивается и наращивает свои возможности.

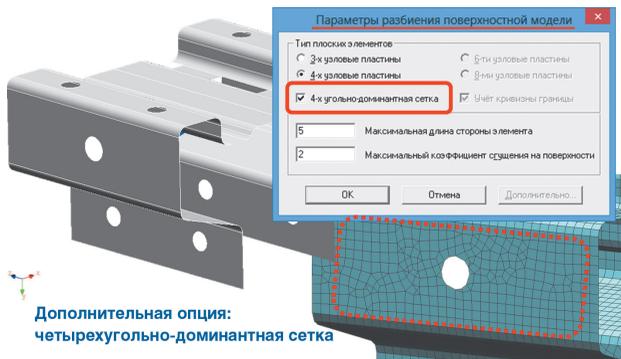
В 12-й версии модуля APM Studio вставлено новое окно-заставка (splash screen) — рис. 17.

Но, конечно, есть и более важные нововведения. Они в основном касаются работы по генерации конечно-элементной сетки, а также затрагивают раздел по выводу результатов расчета.

При расчете конструкций из тонкого листового металла их моделирование ведется в основном пластинчатыми конечными элементами. Теперь для автоматической генерации поверхностных сеток добавлен новый тип конечных элементов — 4-узловые пластины (рис. 18). Дополнительно для генерации подобной сетки используется опция «четыреугольно-доминантная сетка», что позволяет более корректно обрабатывать сложные переходы пространственной геометрии моделей (рис. 19). Применение 4-узловых пластин позволяет быстрее получить решение задачи с инженерной точностью вычислений по сравнению с применением 3-узловых пластин.

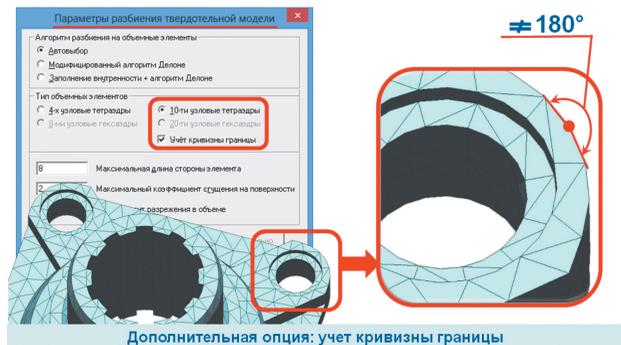


18. Пример генерации плоской КЭ-сетки 4-узловыми пластинами



Дополнительная опция: четырехугольно-доминантная сетка

Рис. 19. Включение дополнительной опции «четырёхугольно-доминантная сетка»



Дополнительная опция: учет кривизны границы

Рис. 20. Пример применения опции Учет кривизны границы

В процесс генерации конечно-элементной сетки из твердотельных элементов тоже были внесены изменения. Помимо добавления в арсенал десяти узловых тетраэдров, была добавлена опция Учет кривизны границы (рис. 20). Данная возможность позволит с минимальными искажениями описывать радиусные части деталей, что может положительно сказаться на получаемом в итоге результате расчета.

Для увеличения производительности процедуры генерации сетки на сложных сборках данный процесс теперь распараллеливается на несколько ядер/процессоров, что, в свою очередь, уменьшает

общее время данной операции (рис. 21).

Важным этапом, следующим за генерацией КЭ-сетки, является этап контроля ее качества, так как от него напрямую зависит точность получаемых результатов. Начиная с 12-й версии в модуль АРМ Studio добавлен режим «рассечения» сетки конечных элементов для контроля качества разбиения твердотельных моделей (рис. 22).

От удобства и наглядности этапа вывода и визуализации результатов расчета в программе зависит скорость принятия решений. Поэтому в каждой новой версии мы стараемся улучшать и оптимизировать процедуры вывода расчет-

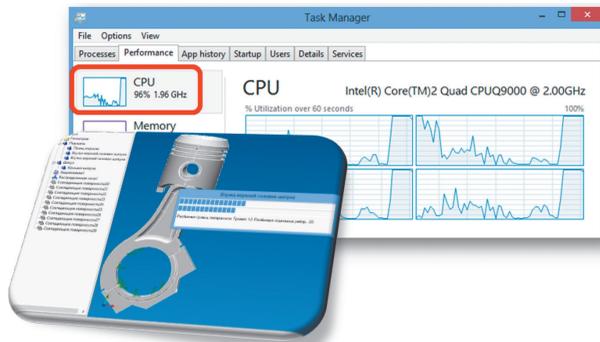


Рис. 21. Подключение всех ядер процессоров к процедуре генерации конечно-элементной сетки

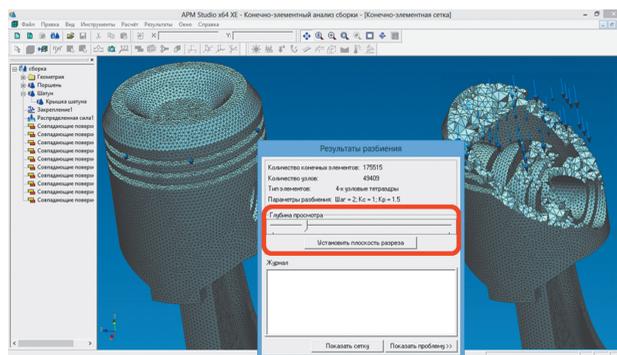


Рис. 22. Работа с режимом Глубина просмотра позволяет «заглянуть внутрь» КЭ-сетки модели

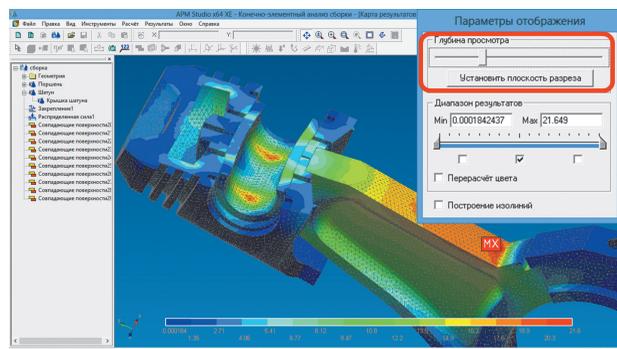


Рис. 23. Произвольный «срез» на карте напряженного состояния

ной информации. Так, при работе с картами результатов реализована опция Глубина просмотра, которая позволяет «заглянуть внутрь» любой карты результатов, например карты напряжений, чтобы понять, как они распределяются по глубине стенок модели (рис. 23).

Для более детального анализа карт результатов реализован инструмент Выноска. Он позволяет вести динамическое обследование модели, то есть показывать цифровые значения параметров в любой точке модели, а также делать статические выноски (рис. 24).

Для оптимизации конструкций при показе результатов бу-

дут полезны следующие опции: показ карты результатов в виде изолиний или изоповерхностей (рис. 25), а также возможность интерактивно менять диапазон цветовой шкалы с параллельным гашением конечных элементов, не попадающих в указанный пользователем диапазон (рис. 26).

Не осталась без внимания и наша строительная линейка, представленная системой АРМ Civil Engineering. В частности, в 12-й версии доработаны возможности применения канатов. При проведении нелинейного расчета со специальной настройкой программа показывает пользователю

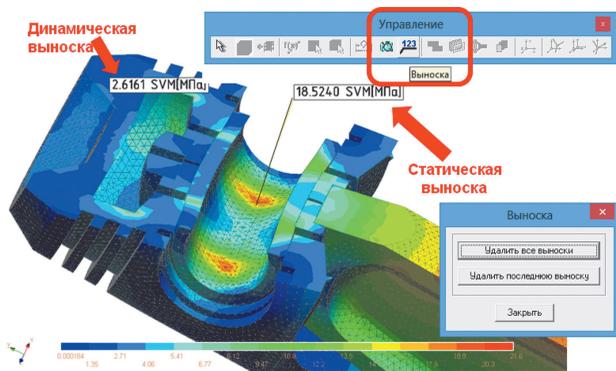


Рис. 24. Работа на карте результатов с объектом *Выноска*

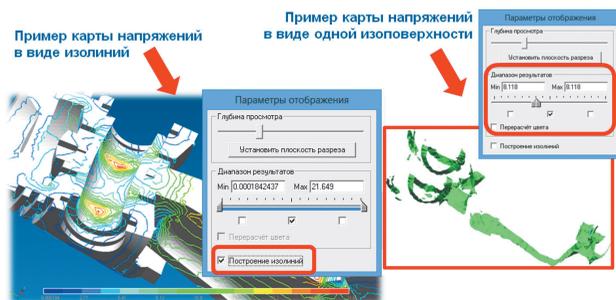


Рис. 25. Пример работы с картами результатов в виде изолиний или изоповерхностей

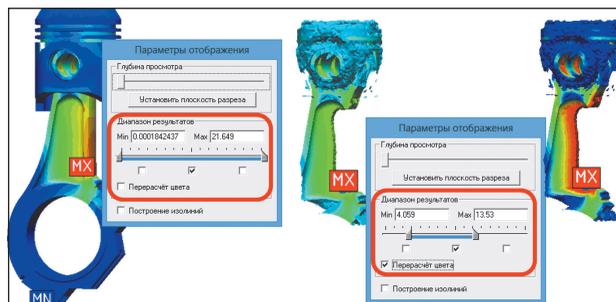


Рис. 26. Пример изменения границ цветовой шкалы и отображения «урезанной» модели

«неработающие» каналы, помечая их прямо на модели крестиками (рис. 27). Впоследствии эти кана-

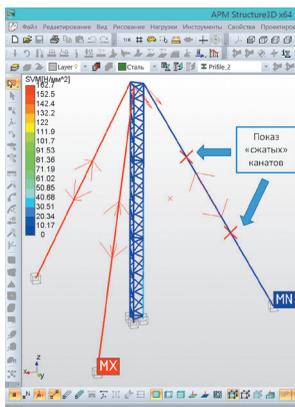


Рис. 27. Визуальное отображение каналов, работающих на сжатие

ты могут быть убраны из модели (они заменяются эквивалентными усилиями для правильного учета их веса). Далее делается вторая итерация расчета, результаты которой демонстрируют реальную работу конструкции.

Продолжают развиваться и такие специализированные направления, как расчеты электромагнитных полей, расчеты течения жидкостей и газов.

На базе модуля APM Studio построена интерактивная среда для решения задач механики жидкости и газа с полным набором собственных инструментов, необходимых для реализации поставленных задач. Этот программный продукт предназначен для выполнения следующих функций:

- анализа векторных полей скоростных потоков жидкости и газа в открытых и закрытых каналах и расчета их силовых характеристик в режимах установившегося и неустановившегося течения;
- определения параметров обтекания неподвижных и движущихся тел сложной геометрической формы;
- решения задач фильтрации пористых сред и грунтов и задач диффузии, для случаев стационарных и нестационарных течений;
- определения параметров теплообмена.

Для решения всего спектра перечисленных выше задач ис-

пользуются современные высокопроизводительные математические методы, которые позволяют находить решения стационарных и нестационарных систем уравнений Навье — Стокса для вязких и невязких сплошных сред при произвольных граничных условиях и при различных скоростях течения жидких и газообразных сред. В результате выполнения расчетных процедур можно получить карты изменения таких параметров трехмерной среды, как скорость, ускорение, давление и силовые воздействия, их изменение во времени (рис. 28 и 29). Переменные во времени режимы можно наблюдать в анимационной форме.

APM Engineering

Оптимальные решения в строительстве и машиностроении

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

15000
10000
5000
0

0 4 8 12 16 20

Reklama



профиль Вальнера

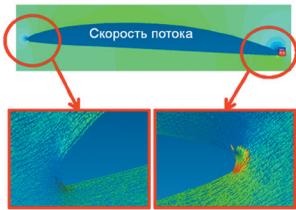


Рис. 28. Пример результатов расчета обтекания крыла

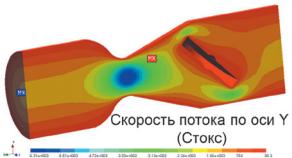
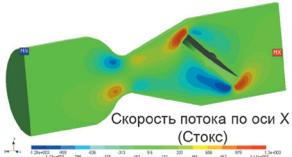


Рис. 29. Пример результатов расчета течения через диффузор

На базе модуля APM Structure3D разрабатывается инструмент моделирования электростатических, магнитостатических и электромагнитных высокочастотных и низкочастотных полей. Функциональные возможности по решению систем уравнений электродинамики достаточны, чтобы описать процессы, являющиеся предметом анализа таких электрических явлений, как:

- электростатика;
- магнитостатика проводников и диэлектриков;
- электродинамика в ферромагнитной среде и вакууме;
- электромагнитные волны и их излучение;
- стоячие волны и резонаторы.

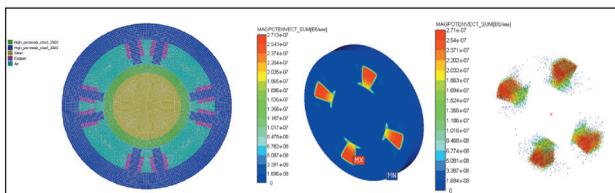


Рис. 30. Пример результатов расчета активного магнитного подшипника

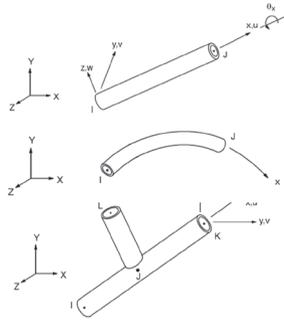


Рис. 31. Конечный элемент — TUBE (участок трубопровода)

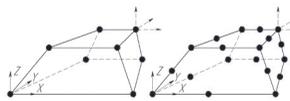


Рис. 32. Гексагональные 8- и 20-узловые конечные элементы

Расчеты выполняются для стационарных и нестационарных режимов (рис. 30).

Новые возможности, описанные в данной статье, отражают лишь наиболее значимые изменения и дополнения в системах APM WinMachine 12 и APM Civil Engineering 12. Хотелось бы отметить, что у нас, как у компании-разработчика, большие планы по дальнейшему развитию этих программных продуктов. И некоторые из них можно озвучить уже сейчас.

В модуле прочностного анализа APM Structure3D появится конечный элемент нового типа — TUBE (участок трубопровода) — рис. 31. Это позволит уменьшить размерность решаемых задач и снизить временные затраты на расчет. Упрощается сама процедура подготовки моделей и выполнение анализа результатов расчета. Новый элемент крайне актуален для моделирования конструкций трубопроводов, которые встречаются во многих отраслях промышленности.

В модуле APM Studio появится возможность автоматически генерировать гексагональную конечно-элементную сетку с элементами первого и второго порядка (8- и

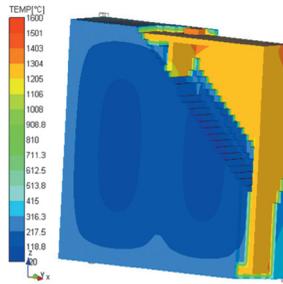


Рис. 33. Охлаждение заготовки в литейной форме (часть формы условно скрыта)

20-узловыми) — рис. 32). Это, в свою очередь, положительно скажется на снижении размерности сеток для решения тех или иных задач, при сохранении допустимой точности вычислений.

Решения задач конечно-элементного анализа будут дополнены функциями учета переменности констант в зависимости от параметров среды (например, температуры, давления и т.п.) — рис. 33. Это крайне актуально для реалистичного моделирования процессов сварки, литья, обработки металлов давлением, электродинамики и т.п. Серьезная доработка будет осуществлена для задач расчета физической нелинейности. Возможно дополнение расчета по теории течения моделями Друкера — Прагера и Кулона — Мора.

Доработке подвергнется и раздел по решению задач динамики механизмов (рис. 34). В планах:

- разработка и встраивание решателя дифференциальных уравнений движения прямым методом (до этого использовался метод разложения по собственным формам);
- будут введены новые объекты:
 - пружина с демпфером,
 - различные типы «GAP»-элементов (элементы с зазорами);
- будут введены инструменты преобразования объемных сборок в схематехнические представления с целью их последующего динамического анализа.

Особое внимание планируется уделить нашему строительному направлению. В частности, решению задач учета подвижной нагрузки по траектории, по скорости и по величинам силовых факторов, построения линий влияния. Всё это — актуальные задачи при расчетах мостовых конструкций.

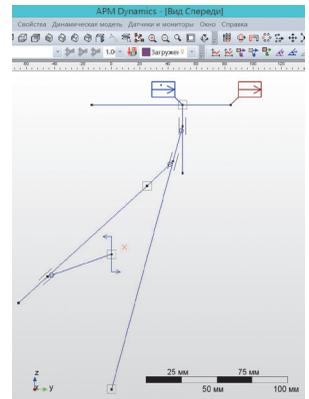


Рис. 34. Пример кулисно-ползунного механизма от строгального станка

Продолжится разработка специализированного трехмерного геометрического редактора железобетонных и деревянных строительных конструкций с автоматической генерацией чертежей деталей и сборок. Данный редактор автоматически переводит архитектурную модель конструкции

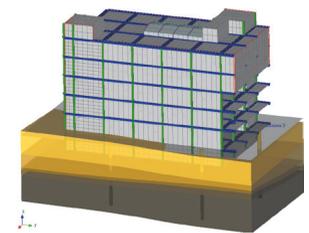


Рис. 35. Пример отображения карты напластования грунта под промышленным зданием

в расчетную, что позволит сэкономить значительное время проектировщика!

Важной составляющей любой расчетной модели строительного характера является реализация фундамента и грунтового основания (рис.35). Для того чтобы оценка работы основания была наиболее реалистичной и исчерпывающей, будут добавлены дополнительные критерии (Друкера — Прагера и Кулона — Мора), Конечно, о планах можно говорить много, но, подытоживая всё вышесказанное, хочется пожелать всем нашим пользователям успешного обновления до современной 12-й версии для решения насущных задач. В свою очередь, коллектив компании НТЦ «АРМ» будет стремиться к реализации всех намеченных планов, чтобы в будущем году появилась очередная новая версия! ➤