



## «АРМ» V14 — представление обновленной линейки САПР от НТЦ «АПМ» на ежегодном Форуме пользователей 2016

Владимир Шелофаст, Сергей Розинский

**В статье рассказывается о ежегодном Форуме пользователей, проводимом компанией НТЦ «АПМ» с целью осуществления диалога с пользователями и представления обновленной линейки программных продуктов для инженерного анализа конструкций под общей торговой маркой «АРМ» V14. Информация о возможностях новой версии программных продуктов может быть полезна действующим пользователям, а также всем, кто применяет системы КЭ-анализа в своей повседневной деятельности.**

Для нашей компании месяц май — время традиционного ежегодного Форума пользователей. Нынешний форум юбилейный — 15-й! Мы, как вендор, всегда очень серьезно относимся к этому мероприятию, так как

имеем обратную связь с нашими уважаемыми пользователями. В этом году для работы и отдыха участников форума был выбран Парк-отель «Софрино» в Пушкинском районе Подмосковья (рис. 1).

систем. Причем спектр расчетных задач описывается очень широко. Зачастую при проектировании одного изделия могут потребоваться связанные расчеты из разных областей физики. Например, анализ прочности металлоконструкций, помимо внешнего силового нагружения, может потребовать учета перепада температур, который, в свою очередь, может существенно повлиять на напряженное и деформированное состояние. Подобного рода расчеты попадают под определение мультифизических. В настоящее время в России нет ни одной отече-

### Владимир Шелофаст

Д.т.н., профессор  
МГТУ им. Н.Э. Баумана,  
генеральный директор  
НТЦ «АПМ».

### Сергей Розинский

Руководитель отдела  
продаж НТЦ «АПМ».

ных направлениях, таких как: нестационарная теплопроводность, электромагнитные поля, течение жидкости и газа, расчеты электрических схем. В итоге на форуме пользователям была представлена обновленная линейка программных продуктов для инженерного анализа кон-



Рис. 1. Общее фото участников XV Форума пользователей 2016 «Современные российские САПР для машиностроения и строительства»

выдается возможность подвести некую черту в делах разработки программных продуктов, а главное — всё это проходит в режиме диалога, благодаря чему мы

В последние годы наблюдается повышенный интерес специалистов разных отраслей промышленности к программным продуктам в области САЕ-

ственной САЕ-системы, покрывающей полный спектр мультифизических задач. Поэтому НТЦ «АПМ» уже несколько лет ведет разработки в наиболее актуаль-

струкций под общей торговой маркой «АРМ». Текущий номер версии — V14. Всего в линейку входит девять продуктов для моделирования физических про-

Таблица. Обновленная линейка программных продуктов для инженерного анализа конструкций АРМ V14

APM Multiphysics	Моделирование физических процессов, прочностной расчет и проектирование конструкций, деталей машин и механизмов
APM WinMachine	Прочностной расчет и проектирование конструкций, деталей машин и механизмов
APM StructFEM	Прочностной расчет конструкций
APM Mechanic	Расчет и проектирование деталей машин и механизмов
APM EMA	Расчет электромагнитных полей
APM FGA	Анализ течения жидкости и газа
APM ECA	Расчет электрических цепей
APM FEM	Прочностной анализ для КОМПАС-3D
APM Civil Engineering	Расчет и проектирование конструкций для промышленного и гражданского строительства



цессов (теплопередача, электромагнитные взаимодействия, течение жидкости и газа), анализа прочности конструкций, расчета и проектирования деталей машин и их соединений, генерации конечно-элементных сеток, а также расчетов строительных конструкций (см. таблицу).

Благодаря такой структуре линейки каждая компания может выбрать один или несколько программных продуктов, необходимых для решения насущных производственных задач.

Практически каждый программный продукт, входящий в состав линейки «АРМ», имеет модульную структуру. Новинки, которые появились в 14-й версии, касаются модулей конечно-элементного анализа, расчетов соединений элементов машин, а также новых направлений — течения жидкости и газа, расчета электрических цепей. Рассмотрим самые интересные новые возможности более подробно.

Бесспорным лидером по количеству новинок в 14-й версии является модуль конечно-элементного анализа — ARM Structure3D (расчетное ядро для всех продуктов прочностного анализа из линейки «АРМ»). Современная версия получила более 30 функциональных и более 10 интерфейсных новинок! О некоторых из них и пойдет речь далее.

Одним из важных направлений в разработке нашего ПО является оптимизация расчетных алгоритмов. За счет этого в 14-й версии достигнуто значительное ускорение расчета линейной статики (до 10 раз) для крупно-размерных моделей с большим количеством нагрузок (рис. 2).

В новой версии реализован метод прямого интегрирования уравнений движения для расчета вынужденных колебаний конструкций. Это позволит снять ограничения на особенности поведения моделируемой системы. В частности, теперь возможен ввод и учет в расчетной модели демпфирующего элемента,

**АПМ** Линейная статика

**Ускорение расчёта линейной статики до 10 раз!**  
для большеразмерных моделей с большим количеством нагрузок

Достигается за счет:

- Оптимизации формирования вектора правых частей
- Оптимизации списка закреплённых степеней свободы

**V 14** ↑  
Время расчета – менее 50 минут

**V 13** ↓  
Время расчета – около 10 часов

Степеней свободы – 1 684 488  
 Количество опор – 56 168  
 Нагрузки на пластины – 520 706  
 Снеговые нагрузки – 54  
 Ветровые нагрузки – 10  
 Загружения – 11  
 Комбинации загружений - 4

Рис. 2. Оптимизация алгоритмов в 14-й версии привела к значительному ускорению расчетов!

**АПМ** Установка опор

**Возможно задать жесткие и упругие односторонние опоры со смещением**

Запрет перемещений по:

X	X+	X-
d <sub>0</sub>	k <sub>0</sub>	d <sub>0</sub>
Y	Y+	Y-
d <sub>0</sub>	k <sub>0</sub>	d <sub>0</sub>
Z	Z+	Z-
d <sub>0</sub>	k <sub>0</sub>	d <sub>0</sub>

Запрет поворота вокруг:

X	RotX+	RotX-
d <sub>0</sub>	k <sub>0</sub>	d <sub>0</sub>
Y	RotY+	RotY-
d <sub>0</sub>	k <sub>0</sub>	d <sub>0</sub>
Z	RotZ+	RotZ-
d <sub>0</sub>	k <sub>0</sub>	d <sub>0</sub>

Тип опоры:  жесткая  упругая

Способ задания:  Добавить  Заменить

d, [M] - зазор  
k, [НМ] - жесткость

Рис. 3. Существенное расширение возможностей по установке опор в конструкции

**АПМ** Автоматическое сгущение КЭ-сетки

**Добавлена возможность сгущения сетки на моделях, выполненных из твердотельных КЭ**

Сгущение сетки в узле (только для моделей из 4хузловых тетраэдров)

Номер узла: 487    Задать    Коэфф.: 3    Кол-во уровней: 3    Показать    Переразбить

Кол-во уровней     Диаметр

ИНСТРУМЕНТЫ -> Операции с сеткой

Рис. 4. Реализация автоматического сгущения твердотельной КЭ-сетки



характеристики которого вводятся в диалоговом окне *Упругая связь*.

Для расчета конструкций, работающих в условиях переменных температур, актуален учет изменения свойств материала. В связи с этим пользователь имеет возможность задать зависимости изменения механических свойств материала от температуры в виде графика, таблицы или функции. Эта информация может быть использована при статическом расчете или расчете вынужденных колебаний, выполняемом «по результатам» нестационарной теплопроводности.

По многочисленным просьбам пользователей в современной версии расширен функционал установки опор. Теперь возможно задать жесткие и упругие односторонние опоры со смещением (рис. 3). Это позволит моделировать конструкции, которые могут изменять характер своей работы в зависимости от интенсивности внешнего нагружения.

В 14-й версии серьезно расширен набор инструментов для работы с твердотельными КЭ. В частности, реализована функция конвертации КЭ низкого порядка в КЭ высокого порядка (4-, 5-, 6-, 8-узловые в 10-, 13-,

15-, 20-узловые соответственно). Это позволит повысить точность вычислений, понизив при этом требования к качеству исходной сетки. Также добавлена специальная команда *Сгущение сетки*, которая позволит без перестроения общей КЭ-сетки модели сгустить сетку в определенных пользователем местах, где ожидаются повышенные деформации и/или напряжения (рис. 4). Это даст возможность более качественного анализа потенциально опасных зон.

Продолжается работа по направлению «Расчеты конструкций из композиционных мате-

риалов». Теперь пользователю доступна возможность расчета пластин из композита, несимметричного по укладке слоев. А также подключен расчет с учетом температурного градиента как по толщине, так и по поверхности пластины.

По опыту некоторых пользователей и запросам, приходящим в наш расчетный отдел, все чаще становятся актуальными прочностные расчеты трубопроводных систем на основные и особые сочетания нагрузок. Поэтому в современной версии APM Structure3D добавлен ряд опций при задании свойств специализированным «PIPE-элементам», в частности выбор «Загружения», куда будет помещаться нагрузка типа «внутреннее/внешнее давление», а также возможность выставить параметр — элемент с открытыми/закрытыми концами (рис. 5).

Идет глобальная работа над интерфейсом модуля конечно-элементного анализа APM Structure3D — развивается дерево «Расчетная модель». Помимо информации об используемых системах координат, материалах в нем появляется возможность просмотра результатов расчета, таких как: эквивалентные напряжения SVM, коэффициенты запаса, главные напряжения (в том числе и в векторном виде!), эпюры внутренних силовых факторов (усилия и моменты) для стержневых КЭ (рис. 6).

Для ускорения работы пользователя по анализу карт результатов некоторые их настройки вынесены на специализированную панель инструментов *Карта результатов*: параметры вывода результатов, диапазон результатов, анимация, показ максимальных и минимальных значений, создание и показ выносок, показ деформированной/недеформированной сетки (рис. 7).

Для ускорения процессов построения расчетных моделей реализована работа правой кнопки мыши (ПКМ) с группой объектов. Возникающие контекстные меню позволяют быстро перейти

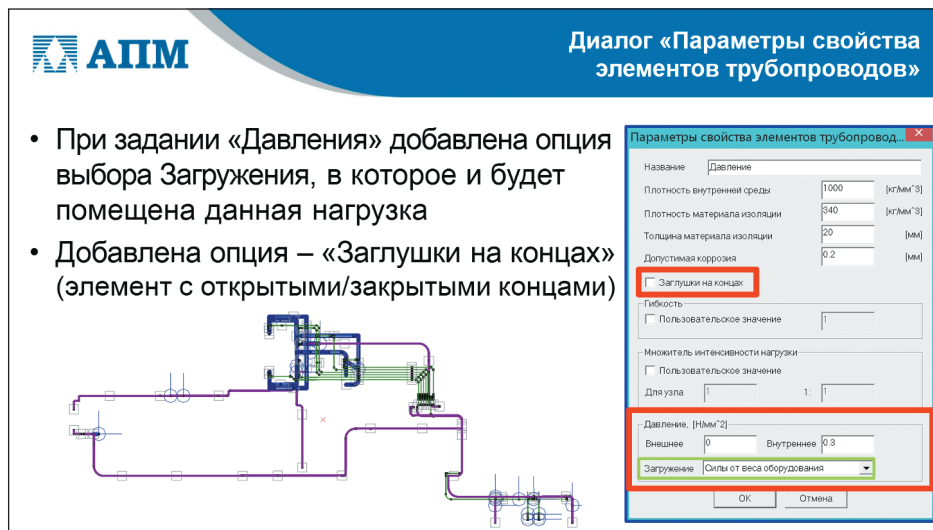


Рис. 5. Обновленный диалог «Параметры свойства элементов трубопроводов»

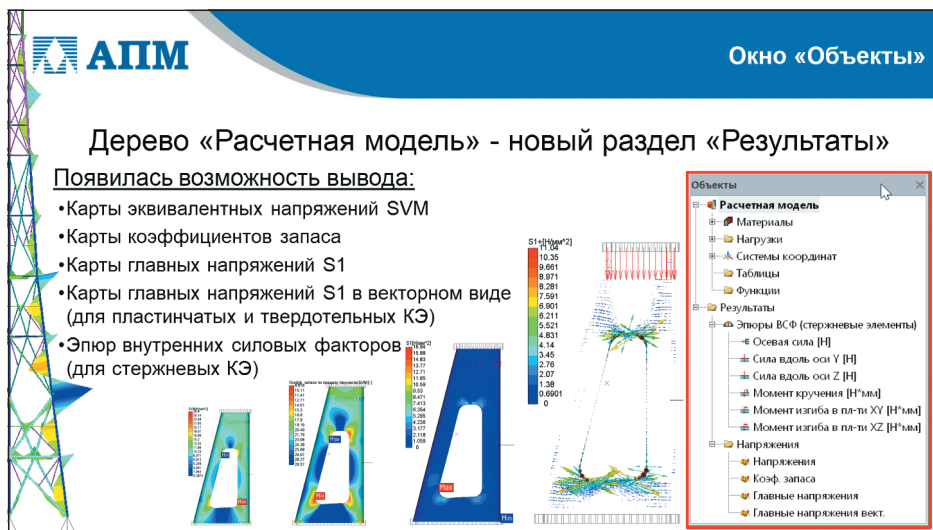


Рис. 6. Расширены возможности дерева «Расчетной модели»



к выбору команды, характерной для редактирования, нагружения и т.д. группы тех или иных конечных элементов (рис. 8).

Нововведения, включенные в 14-ю версию, коснулись и такого важного направления, как расчеты строительных конструкций. В первую очередь они относятся к актуализации проверок для стальных, железобетонных и армокаменных конструктивных элементов в соответствии с новыми СП. В дополнение к этому у пользователя появилась возможность проведения проверок для стальных конструктивных элементов в соответствии с Eurocode 3. Данная возможность может оказаться крайне актуальной в случае, если компания работает с иностранными заказчиками.

Решена давняя проблема — учет веса различных частей конструкции с разными коэффициентами надежности. Теперь для этого существует команда *Собственный вес* для выделенных элементов. Она позволяет «объяснить» программе, что, например, вес металлической части конструкции должен быть учтен в расчете с коэффициентом 1,05, а железобетонной — с 1,1.

Предусмотрена новая команда *Обойма*. Она позволит моделировать усиление для стержневых конечных элементов путем ввода в конструкцию дополнительного элемента, привязанного к узлам стержня. Жесткостные характеристики этого элемента определяет пользователь, указав необходимое поперечное сечение. Подобный вариант реализуется обычно для усиления существующей конструкции несущего каркаса здания (рис. 9).

Проведена оптимизация работы диалога *Фундаменты*: ускорены операции редактирования/удаления и пр. Добавлены дополнительные результаты расчета фундаментов: достаточность площади фундамента (по давлению); достаточность общей глубины грунта (по продавливанию).

Для более полного удовлетворения современных строи-

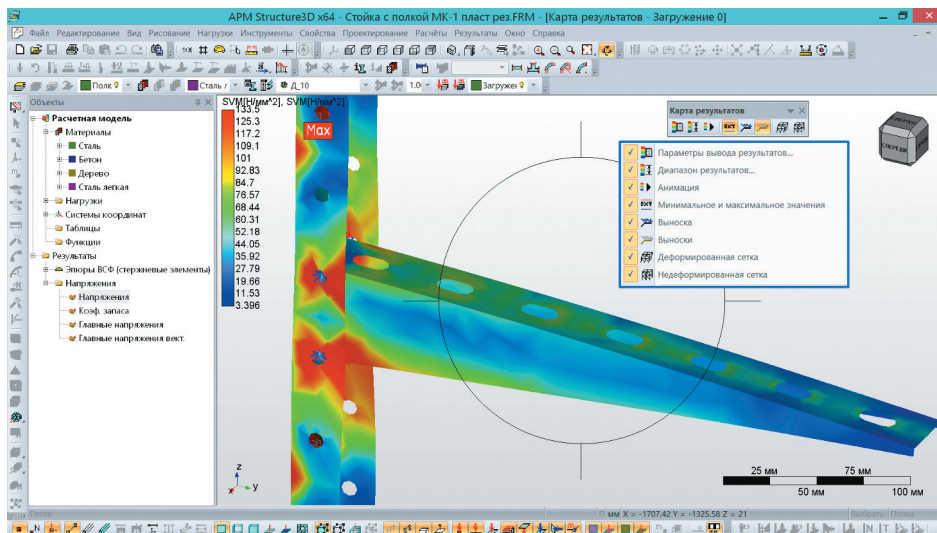


Рис. 7. Обновленная панель инструментов *Карта результатов*



Рис. 8. Применение ПКМ при работе с группой объектов



Рис. 9. Использование *Обоймы* в строительных конструкциях



Рис. 10. Новая команда *Распределенный момент* в модуле APM Studio

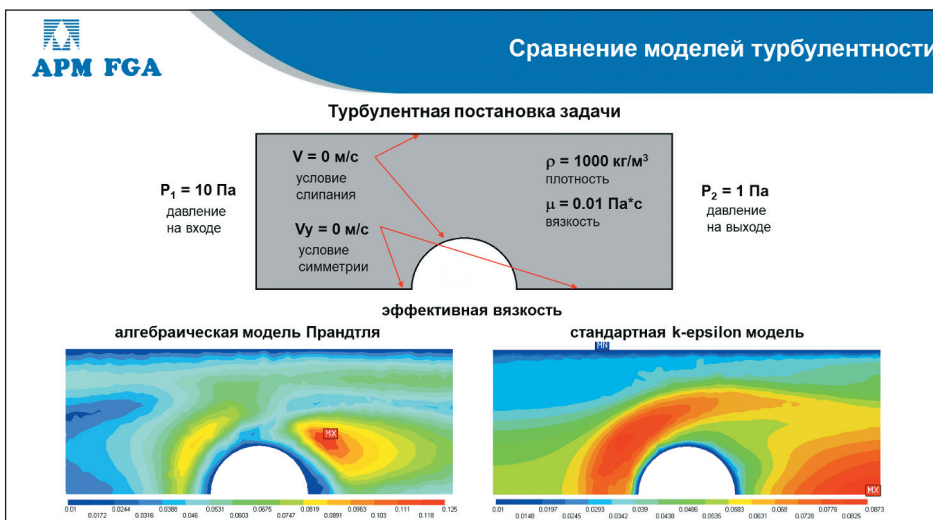


Рис. 11. Пример вывода результатов расчета после анализа течения в модуле APM FGA

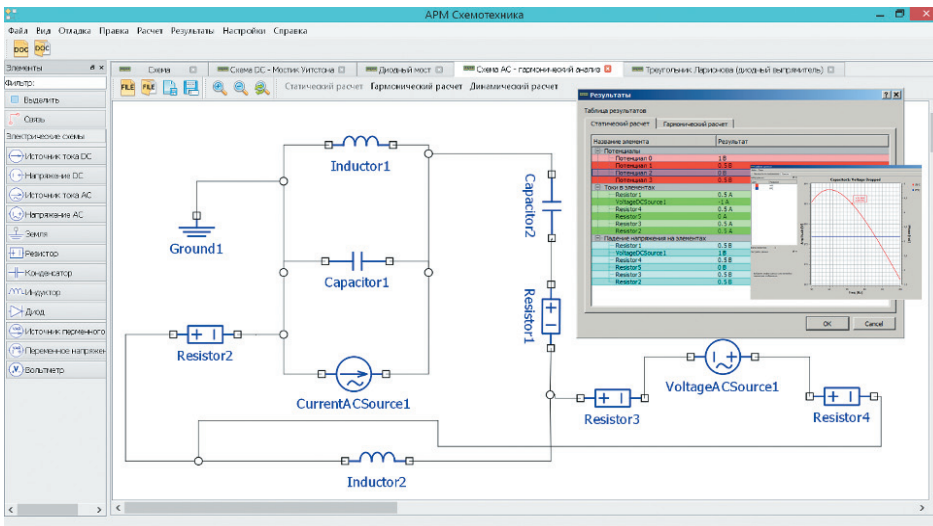


Рис. 12. Новый продукт для расчета электрических цепей — APM ECA

тельных норм при расчете комбинаций нагрузок (PCU) для временных нагрузок добавлен параметр *Степень влияния*. Это позволит автоматизировать подготовку информации по коэффициентам сочетаний, необходимым для составления PCU.

Для удобства работы с крупноразмерными строительными конструкциями в диалоговом окне *Армированные конструктивные элементы* добавлены два новых фильтра: *Показывать только элементы без арматуры*, *Показывать только элементы, для которых расчет не может быть произведен*. Фильтры позволяют быстрее выявить ошибки ввода исходных данных, возникающие из-за так называемого человеческого фактора.

Из-за повышенной сложности архитектурных форм современных строительных конструкций часто возникает необходимость нетривиального армирования железобетонных элементов. В связи с этим реализована возможность задания чередующейся арматуры в пластинах при проведении проверочного расчета железобетонных конструктивных элементов.

Новый функционал появляется и в других модулях КЭ-анализа. APM Studio — пре- и постпроцессор для расчета трехмерных твердотельных и оболочечных моделей — пополнился новым типом нагрузки — *Распределенный момент*. Его можно прикладывать к поверхностям или ребрам моделей (рис. 10). Следует отметить, что использование твердотельных элементов высокого порядка (10-узловые тетраэдры) теперь возможно для всех типов расчетов, доступных в модуле. Этап вывода расчетной информации в виде документа, доступного для анализа и редактирования, — необходимый шаг в работе расчетчика. В 14-й версии APM Studio проведена доработка автоматического текстового отчета — добавлен титульный лист с интерактивным содержанием, а также заготовки для разделов «Введение» и «Заключение».

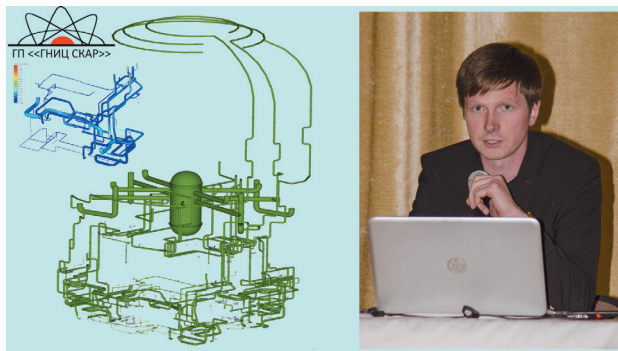


Рис. 13. Выступление Валерия Посоха, ГП «ГНИЦ СКАР»

Помимо классических направлений деятельности для нашей компании на форуме были представлены перспективные разработки в области механики разрушения, а также решения для моделирования физических задач: течения жидкости и газа, расчета электрических цепей.

APM FGA (APM Fluid and Gas Analysis) — программный продукт для анализа течения жидкости и газа (рис. 11). В 14-й версии он дает возможность проводить следующие анализы:

- потенциальных течений — позволяет рассчитывать поля скоростей и давлений идеальных течений (несжимаемых, изотермических, невязких);
- фильтрации течений в стационарной и нестационарной постановках для расчета полей давлений и скоростей течений через ортотропную пористую среду;
- течений Навье — Стокса для расчета полей давлений и скоростей вязких течений. Реализован в стационарной, несжимаемой, изотермической постановке с возможностью учета турбулизации потока в соответствии с алгебраической моделью турбулентности «путь перемешивания Прандтля».

В планах разработчиков — добавить некоторые модели турбулентности, сжимаемый алгоритм течений, электромагнетизм течений, нестационарный алгоритм течений и т.п.

APM ECA (APM Electrical Circuit Analysis) — программный продукт для расчета элект-

рических цепей (рис. 12). APM ECA позволяет моделировать электрические цепи произвольной топологии, состоящие из различных типов двухполюсников (пассивных и активных). Расчеты выполняются для стационарных, установившихся гармонических и нестационарных режимов. Соответственно пользователю доступны: статический анализ, гармонический анализ, анализ переходных процессов.

Еще раз хочется отметить, что Форум пользователей — это площадка для диалога вендора и пользователей. Особенно приятно, когда пользователи демонстрируют свои реальные проекты, выполненные с помощью наших программных продуктов. В этом году открывали блок таких выступлений наши гости из Киева. Валерий Посох, представлявший ГП «ГНИЦ СКАР», сделал доклад на тему: «Опыт выполнения прочностных расчетов оборудования и трубопроводов АЭС с применением программного средства APM Structure3D» (рис. 13). Сложность и качество представленных проектов приятно удивили всех, даже разработчиков этого модуля!

Алексей Татаринов с коллегами из «Объединения инженеров-прочников — EngCalc.ru» (г.Москва) представил доклад на тему: «Обследование объектов связи, зданий, сооружений. Расчет несущей способности» (рис. 14). Хочется отметить масштабность работ, которые были продемонстрированы! Также стало очевидно, что, как

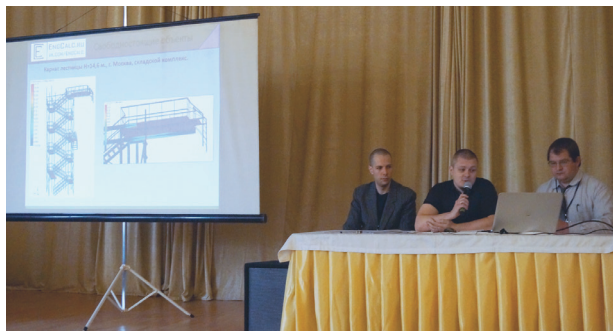


Рис. 14. Выступление представителей «Объединения инженеров-прочников — EngCalc.ru» во главе с Алексеем Татариновым

правило, исходные обследуемые конструкции либо неспособны нести новую увеличенную нагрузку, либо балансируют на

границе несущей способности, поэтому приходится предлагать заказчикам варианты усиления, которые, конечно, проходят

APM Engineering

Optimal solutions in construction and machine engineering

АПИМ  
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

machine

Reklama



предварительный расчет в наших программных продуктах.

Грамотные инженерные кадры сами собой не появляются — их надо растить, поэтому НТЦ «АПМ» активно работает с

вузами. И нам очень приятно, что на Форуме пользователей всегда присутствуют и представители научной среды. В частности, Михаил Суслов, доцент кафедры полиграфических машин и оборудования,

сделал доклад «Применение системы APM WinMachine в Московском государственном университете печати имени Ивана Федорова» (рис. 15). Университет является нашим давним пользователем с 10-летним стажем. Неоднократно его студенты занимали призовые места на ежегодном Конкурсе студенческих работ. Поскольку система APM WinMachine обладает довольно широким функционалом, ее применение возможно на многих дисциплинах: «Детали машин», «Сопротивление материалов», «Проектирование полиграфического оборудования», «Основы технологии машиностроения», «Основы проектирования (ТММ)».

Верификация и сравнительные тесты — один из необходимых этапов при разработке и использовании сложных расчетных систем. Этим занимаемся не только мы, как разработчики, но и наши пользователи, выполняющие научно-исследовательские работы. Лочин Юсупов, представлявший ФГБНУ «НИИ ПМТ» (г.Москва), сделал доклад на тему: «Сравнение расчетов НДС пьезоэлюминформов в APM WinMachine и ANSYS с экспериментальными результатами» (рис. 16). При использовании нашей системы вводилась температурная аналогия пьезоэффекта. В итоге было показано, что при сравнении получаемых результатов расчета и эксперимента погрешность составляет менее 10%, что является вполне приемлемым.

Несколько отдельных докладов на Форуме пользователей были посвящены демонстрации работ, проведенных нашим расчетным отделом. Эта сфера деятельности компании пользуется большой популярностью и параллельно с финансовой выгодой приносит и техническую пользу. Выполнение реальных расчетных задач позволяет взглянуть на продукт «глазами пользователя», понять слабые стороны интерфейсной и расчетной части, чтобы в будущих версиях сделать продукт более удобным и функциональным. На рис. 17 показан фрагмент выступления руководителя отдела проектирования НТЦ «АПМ» Евгения Полищука на тему: «Расчет и проектирование подъемно-транспортного оборудования для транспортировки и монтажа контейнеров АЭС по заказу предприятия ООО «УфаАтомХимМаш».

В заключение от лица руководства и сотрудников НТЦ «АПМ» выражаем огромную благодарность всем гостям, которые приехали к нам и активно участвовали в деловой и развлекательной программе Форума пользователей! Хотелось пожелать всем уверенности в будущем и творческого роста совместно с продуктами нашей компании! До встречи на следующем Форуме! ➤

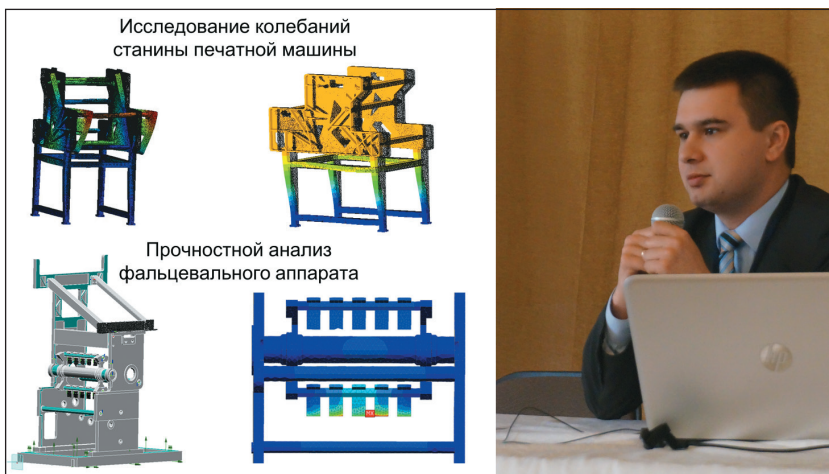


Рис. 15. Выступление Михаила Сулова, МГУП имени Ивана Федорова

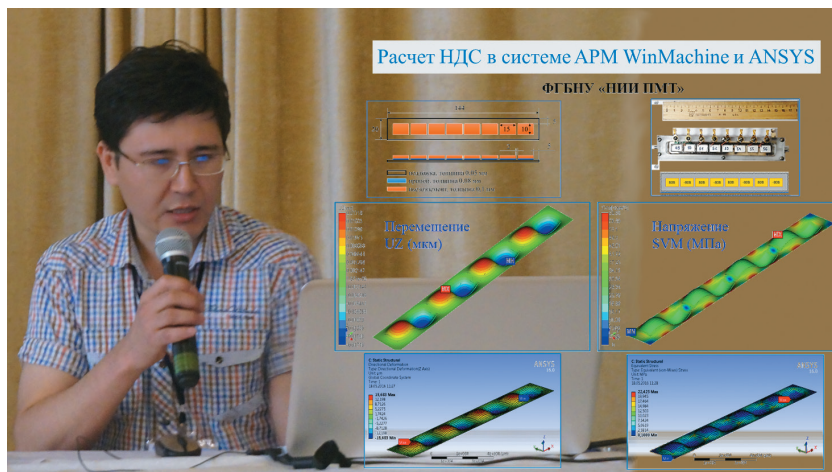


Рис. 16. Выступление Лочина Юсупова, ФГБНУ «НИИ ПМТ»



Рис. 17. Выступление Евгения Полищука, НТЦ «АПМ»