

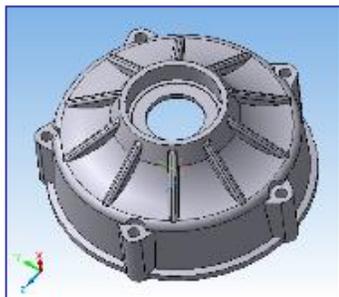


Программные продукты НТЦ «АПМ»

# Система прочностного анализа АРМ FEM v19 для КОМПАС-3D v19

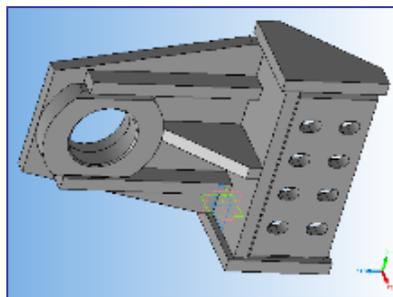


НТЦ «АПМ» - ведущий разработчик ПО для инженерных расчетов



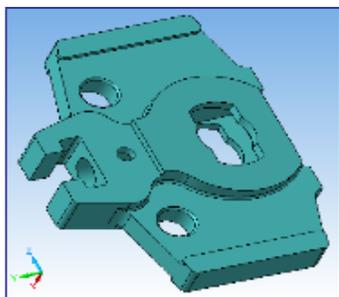
## Цель работы системы APM FEM

Дать возможность конструктору уже на начальных стадиях проектирования принимать правильные и обоснованные конструктивные решения, используя построенные 3D-модели. Это, несомненно, повышает качество и экономит время, затрачиваемое на разработку изделия, а значит, делает его конкурентоспособным!



## Основная задача APM FEM

Анализ прочности небольших по размерам (и их соотношению) деталей и сборок, для которых важно БЫСТРО оценить прочность элементов с возможной оптимизацией конструкции, используя ассоциативную связь геометрической и расчетной моделей.



Примеры объектов – тяги, проушины, упоры, кронштейны, уголки, рычаги, корпусные детали, опорные элементы и т.п.

## Типовой цикл расчета в АРМ FEM для КОМПАС-3D

СТАРТ

ФИНИШ

Подключаем  
приложение  
АРМ FEM

Определяем  
совпадающие  
поверхности

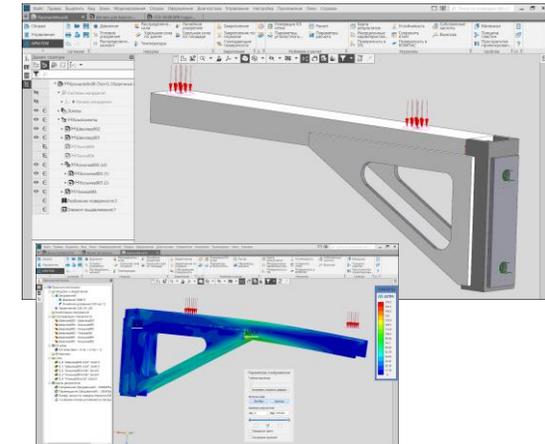
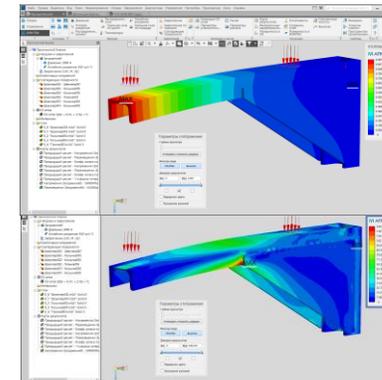
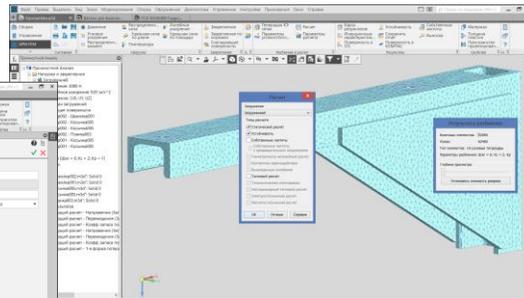
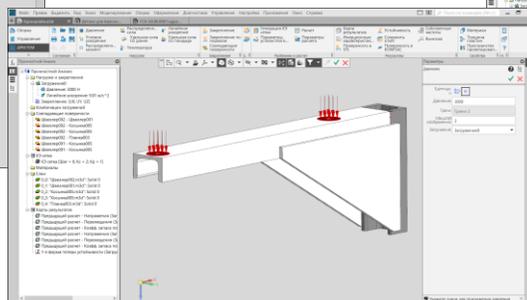
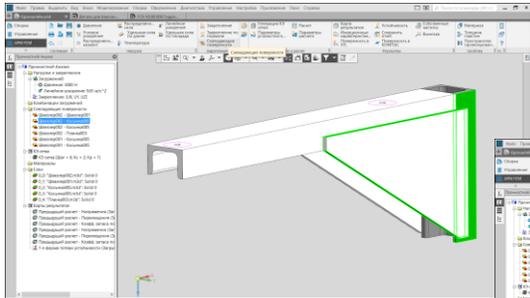
Вводим  
граничные  
условия

Генерируем  
КЭ-сетку

Запускаем  
необходимый  
расчет

Выводим,  
анализируем  
результаты

Меняем модель,  
делаем проверку  
новой конструкции



## ПЕРЕД НАЧАЛОМ РАБОТЫ...

## FAQ по APM FEM

Часто задаваемые вопросы...



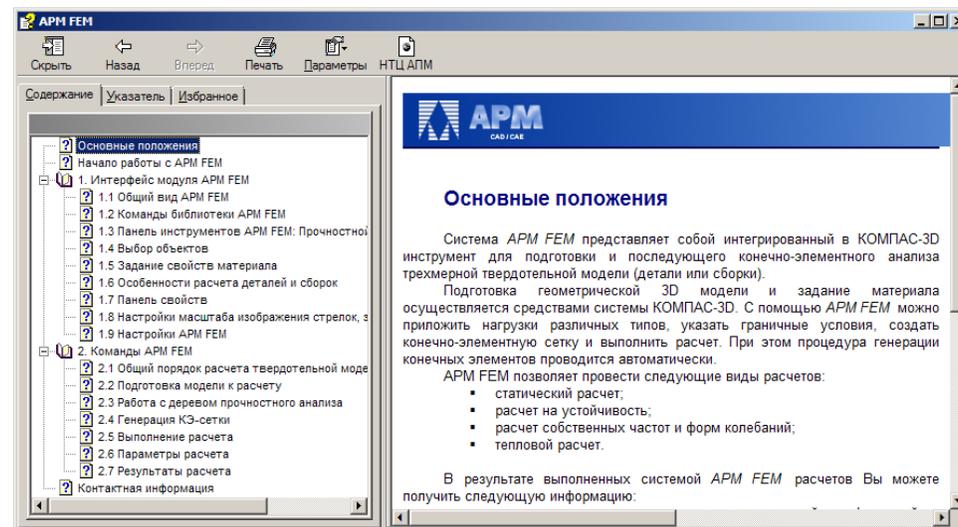
Программные продукты НТЦ «АПМ»

**APM FEM**  
Наиболее часто задаваемые вопросы



НТЦ «АПМ» - ведущий разработчик ПО для инженерных расчетов

## Справка

Описание основных интерфейсных  
и расчетных возможностей

Содержание

- Основные положения
- Начало работы с APM FEM
- 1. Интерфейс модуля APM FEM
  - 1.1 Общий вид APM FEM
  - 1.2 Команды библиотеки APM FEM
  - 1.3 Панель инструментов APM FEM: Прочностной
  - 1.4 Выбор объектов
  - 1.5 Задание свойств материала
  - 1.6 Особенности расчета деталей и сборок
  - 1.7 Панель свойств
  - 1.8 Настройки масштаба изображения стрелок, с
  - 1.9 Настройки APM FEM
- 2. Команды APM FEM
  - 2.1 Общий порядок расчета твердотельной моде
  - 2.2 Подготовка модели к расчету
  - 2.3 Работа с деревом прочностного анализа
  - 2.4 Генерация КЭ-сетки
  - 2.5 Выполнение расчета
  - 2.6 Параметры расчета
  - 2.7 Результаты расчета
- Контактная информация

**Основные положения**

Система *APM FEM* представляет собой интегрированный в КОМПАС-3D инструмент для подготовки и последующего конечно-элементного анализа трехмерной твердотельной модели (детали или сборки).

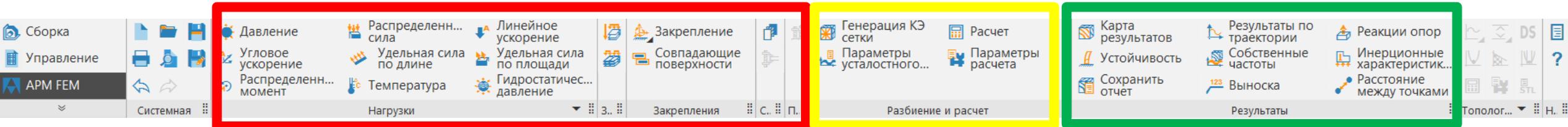
Подготовка геометрической 3D модели и задание материала осуществляется средствами системы КОМПАС-3D. С помощью *APM FEM* можно приложить нагрузки различных типов, указать граничные условия, создать конечно-элементную сетку и выполнить расчет. При этом процедура генерации конечных элементов проводится автоматически.

APM FEM позволяет провести следующие виды расчетов:

- статический расчет;
- расчет на устойчивость;
- расчет собственных частот и форм колебаний;
- тепловой расчет.

В результате выполненных системой *APM FEM* расчетов Вы можете получить следующую информацию:

## Режимы работы панели инструментов APM FEM



### Подготовка модели

- Задание совпадающих поверхностей
- Задание закреплений
- Задание нагрузок
- ...

### Генерация КЭ-сетки и расчет

- Генерация конечно-элементной сетки
- Настройки параметров расчета
- Запуск необходимого типа расчета

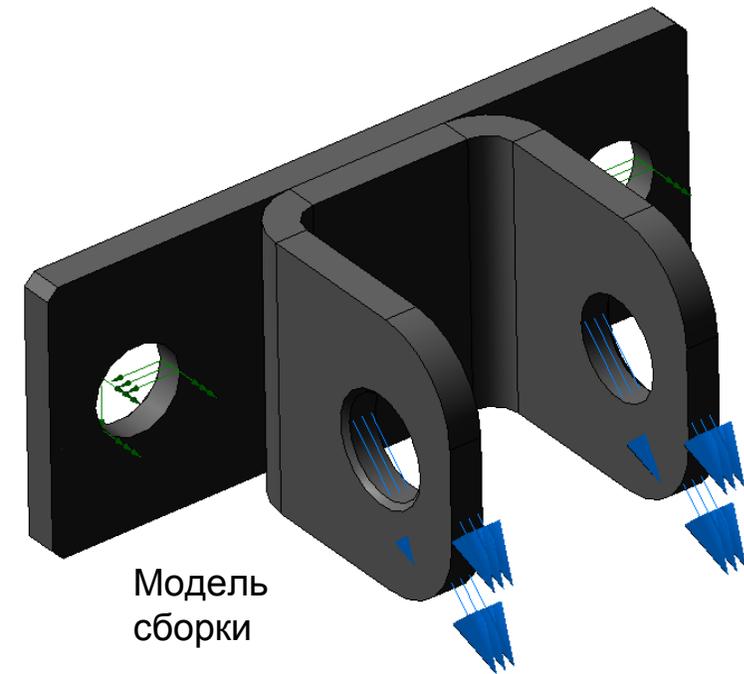
### Результаты расчёта

- Вывод карт результатов
- Реакции в опорах
- Использование выносок
- Генерация файла-отчета
- ...

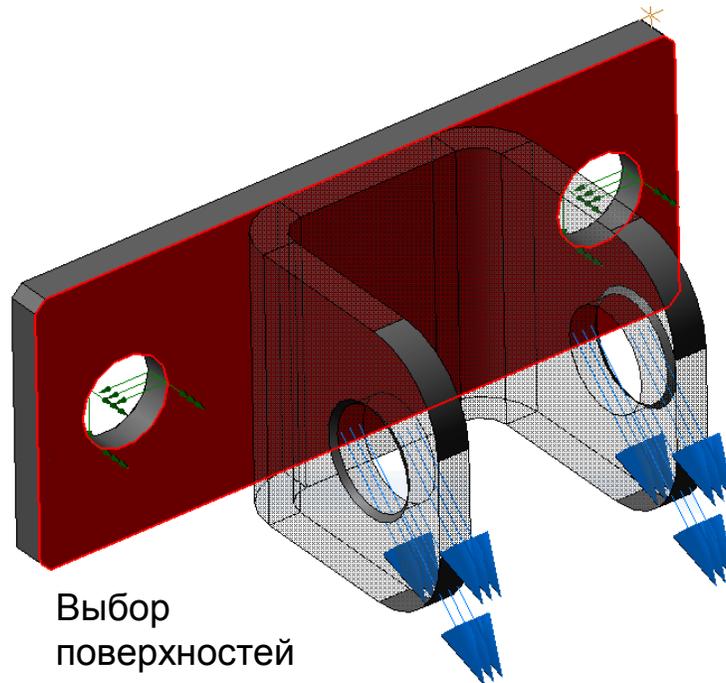
## Определение совпадающих поверхностей



Автоматический или «Ручной» режим работы

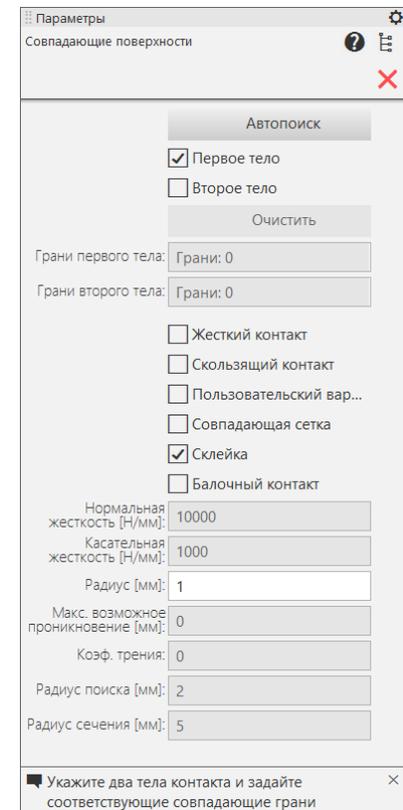


Модель сборки

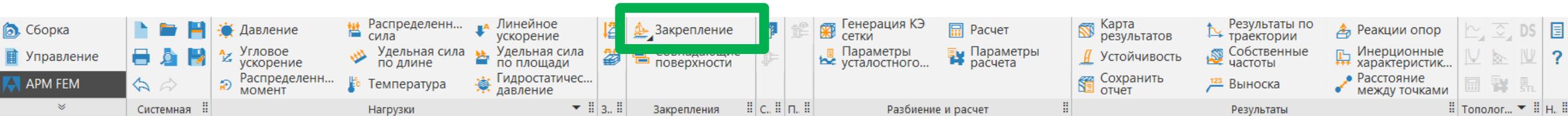


Выбор поверхностей контакта

- ✓ Выбор поверхностей контакта
- ✓ Задание типа контакта

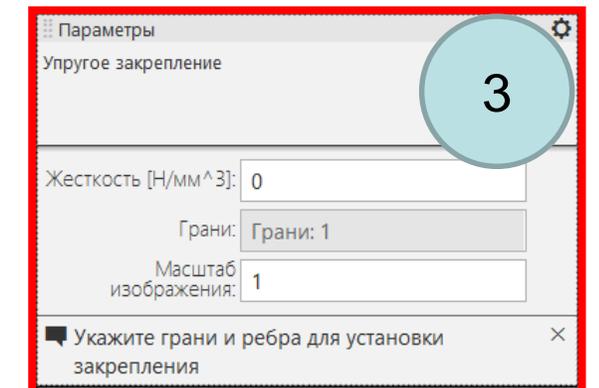
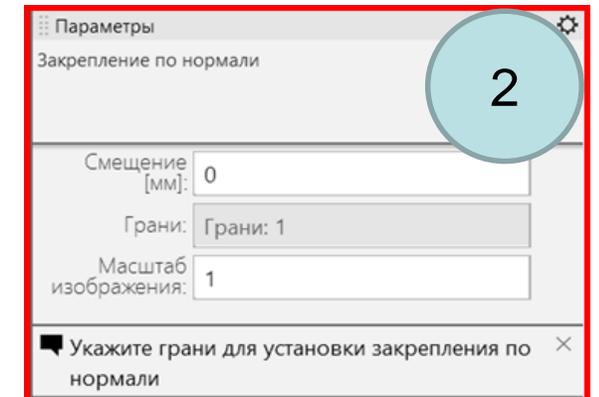
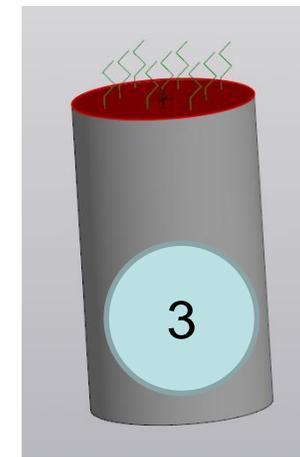
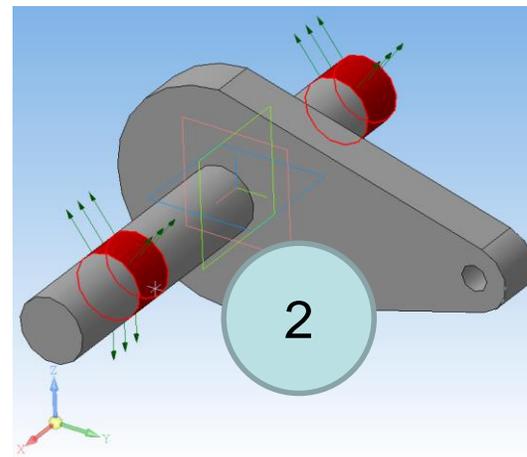
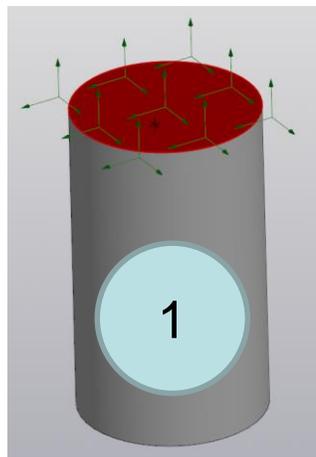
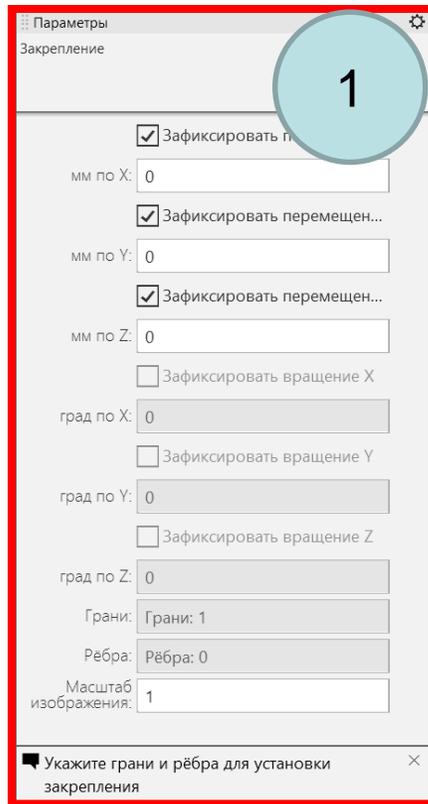


## Задание закреплений

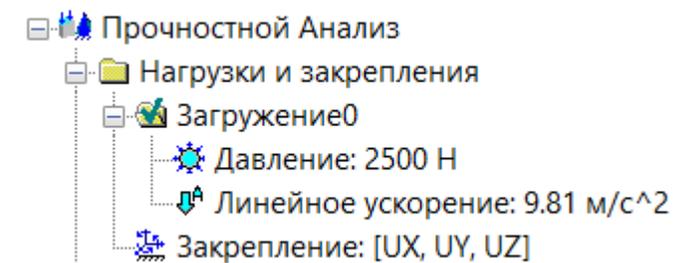
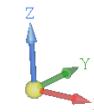
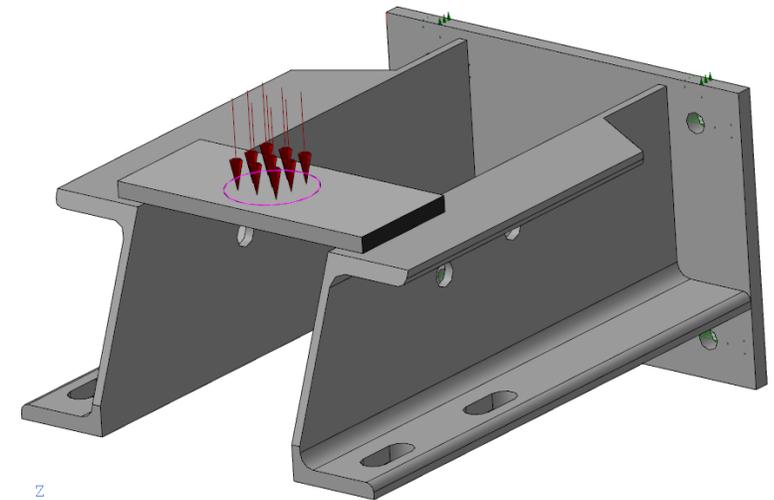
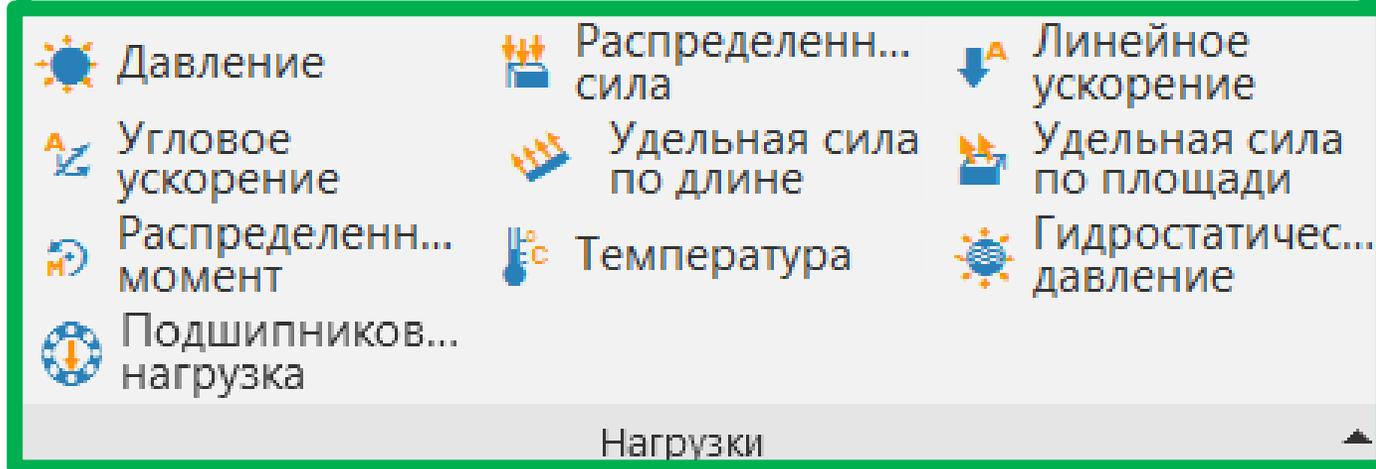
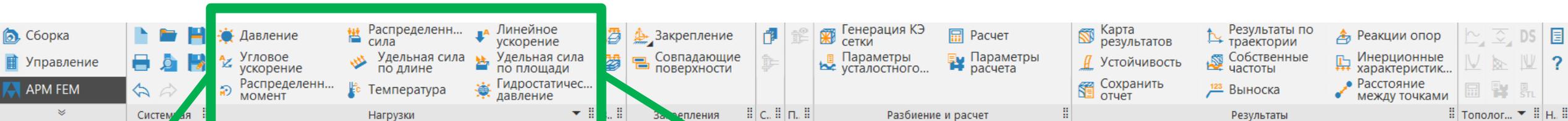


Три варианта:

1. Закрепление (запрет перемещений ребер или граней по осям ГСК)
2. Закрепление по нормали (запрет перемещений граней по нормали к поверхности)
3. Упругое закрепление



## Задание нагрузок

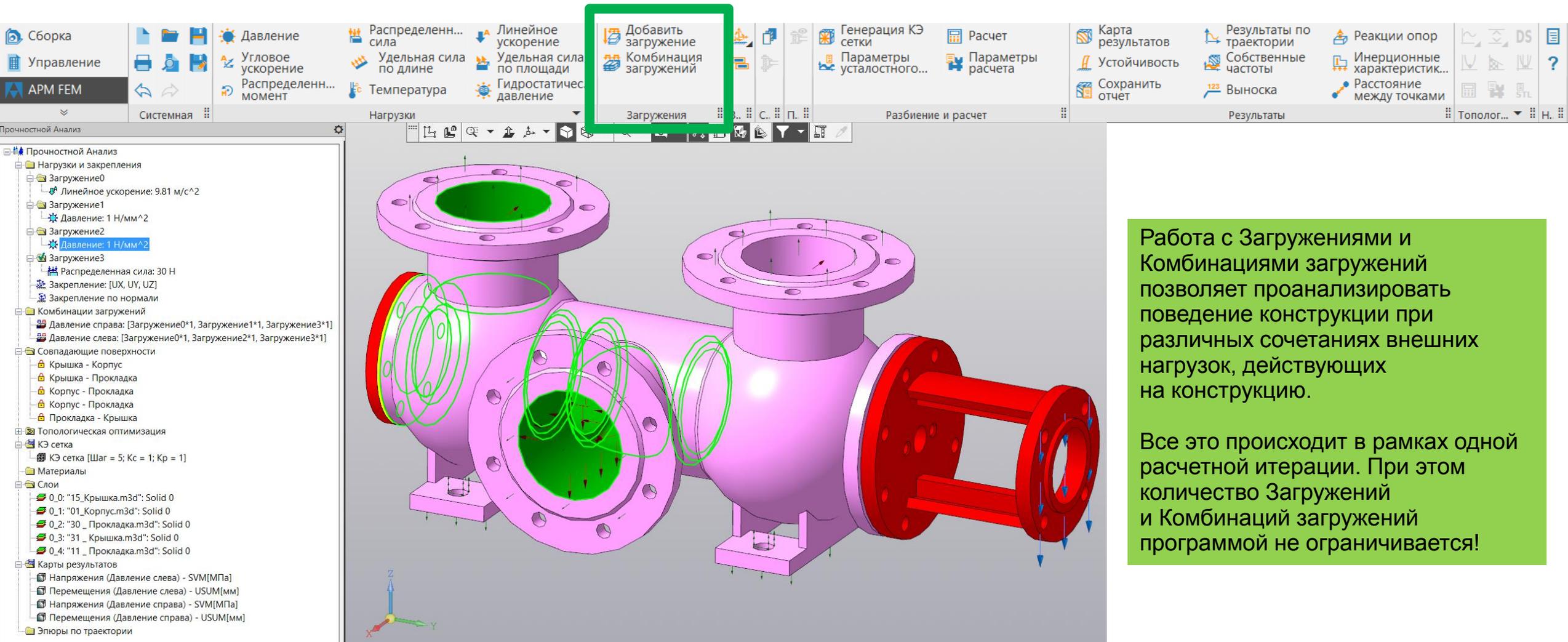


**ВАЖНО!**

При вводе значений нагрузок обращайте внимание на единицы измерения!



## Работа с нагрузками и их комбинациями



**Нагрузки**

- Давление
- Угловое ускорение
- Распределенный момент
- Распределенная сила
- Удельная сила по длине
- Температура
- Линейное ускорение
- Удельная сила по площади
- Гидростатическое давление

**Загрузки**

- Добавить загрузку
- Комбинация загрузок

**Результаты**

- Карта результатов
- Устойчивость
- Сохранить отчет
- Результаты по траектории
- Собственные частоты
- Выноска
- Реакции опор
- Инерционные характеристики...
- Расстояние между точками

**Прочностной Анализ**

- Нагрузки и закрепления
  - Загрузка0
    - Линейное ускорение: 9.81 м/с<sup>2</sup>
  - Загрузка1
    - Давление: 1 Н/мм<sup>2</sup>
  - Загрузка2
    - Давление: 1 Н/мм<sup>2</sup>
  - Загрузка3
    - Распределенная сила: 30 Н
    - Закрепление: [UX, UY, UZ]
    - Закрепление по нормали
- Комбинации загрузок
  - Давление справа: [Загрузка0\*1, Загрузка1\*1, Загрузка3\*1]
  - Давление слева: [Загрузка0\*1, Загрузка2\*1, Загрузка3\*1]
- Совпадающие поверхности
  - Крышка - Корпус
  - Крышка - Прокладка
  - Корпус - Прокладка
  - Корпус - Прокладка
  - Прокладка - Крышка
- Топологическая оптимизация
- КЭ сетка
  - КЭ сетка [Шаг = 5; Kc = 1; Kr = 1]
- Материалы
- Слои
  - 0\_0: "15\_Крышка.m3d": Solid 0
  - 0\_1: "01\_Корпус.m3d": Solid 0
  - 0\_2: "30\_Прокладка.m3d": Solid 0
  - 0\_3: "31\_Крышка.m3d": Solid 0
  - 0\_4: "11\_Прокладка.m3d": Solid 0
- Карты результатов
  - Напряжения (Давление слева) - SVM[МПа]
  - Перемещения (Давление слева) - USUM[мм]
  - Напряжения (Давление справа) - SVM[МПа]
  - Перемещения (Давление справа) - USUM[мм]
- Эпюры по траектории

Работа с Загрузками и Комбинациями загрузок позволяет проанализировать поведение конструкции при различных сочетаниях внешних нагрузок, действующих на конструкцию.

Все это происходит в рамках одной расчетной итерации. При этом количество Загрузок и Комбинаций загрузок программой не ограничивается!

## Автоматическая генерация конечно-элементной сетки



**Параметры КЭ сетки**

4-узловые тетраэдры  
 10-узловые тетраэдры

Максимальная длина стороны элемента: 4  
 Минимальная длина стороны элемента: 1  
 Максимальный коэффициент: 1.2  
 Коэффициент разрежения в объеме: 1

Для топологической о...  
 Учёт кривизны

Угловой шаг [град]: 18

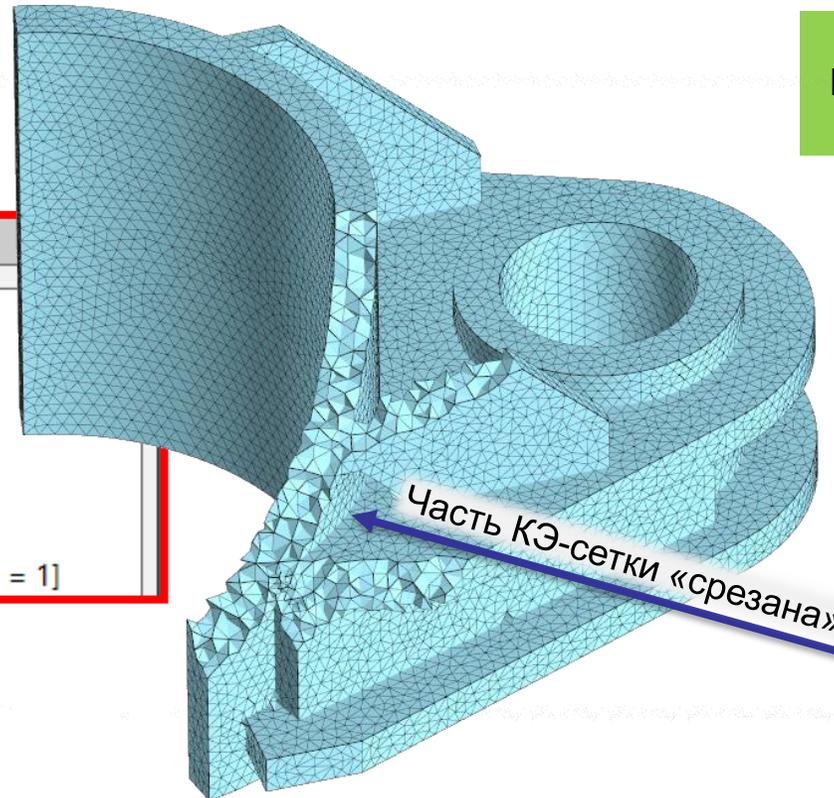
Игнорировать углово...  
 (Beta) Объединять бл...

Размер допуска на слияние [мм]: 0.05

Создать конечно-элементную сетку

**Прочностной Анализ**

- Прочностной Анализ
  - Нагрузки и закрепления
  - Комбинации нагружений
  - Совпадающие поверхности
  - Топологическая оптимизация
  - КЭ сетка
    - КЭ сетка [Шаг = 4; Кс = 1.2; Кр = 1]



**ВАЖНО!**  
Возможность контроля сетки «по глубине»!

**Результаты разбиения**

Конечных элементов: 143910  
 Узлов: 31131  
 Тип элементов: 4-узловые тетраэдры  
 Параметры разбиения: Шаг = 4; Кс = 1.2; Кр = 1

Глубина просмотра: [Slider]

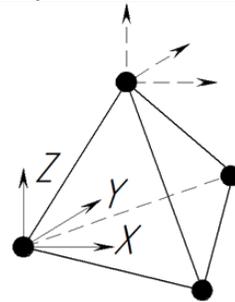
Установить плоскость разреза

## Автоматическая генерация конечно-элементной сетки

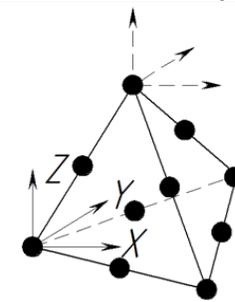


При выборе основных параметров сетки есть выбор типа КЭ!!!

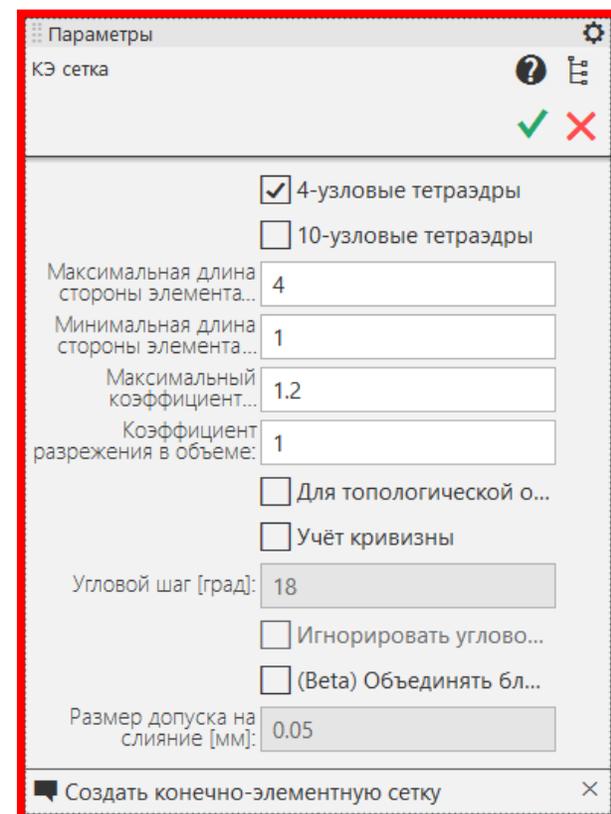
4-х узловой  
тетраэдр



10-ти узловой  
тетраэдр



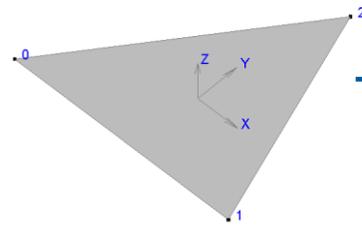
- ✓ **Сокращение времени создания КЭ-сеток**  
(за счет меньшего требуемого количества КЭ)
- ✓ **Сокращение времени расчета**
- ✓ **Сохранение необходимой инженерной точности вычислений**
- ✓ **Уменьшение объема информации, хранимой на жестком диске**
- ✓ **Увеличение производительности труда**



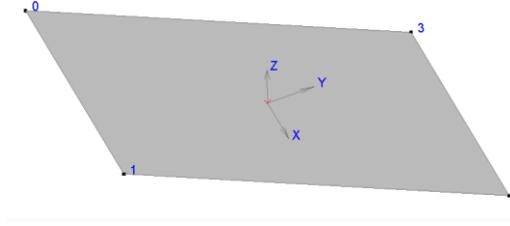
## Автоматическая генерация конечно-элементной сетки



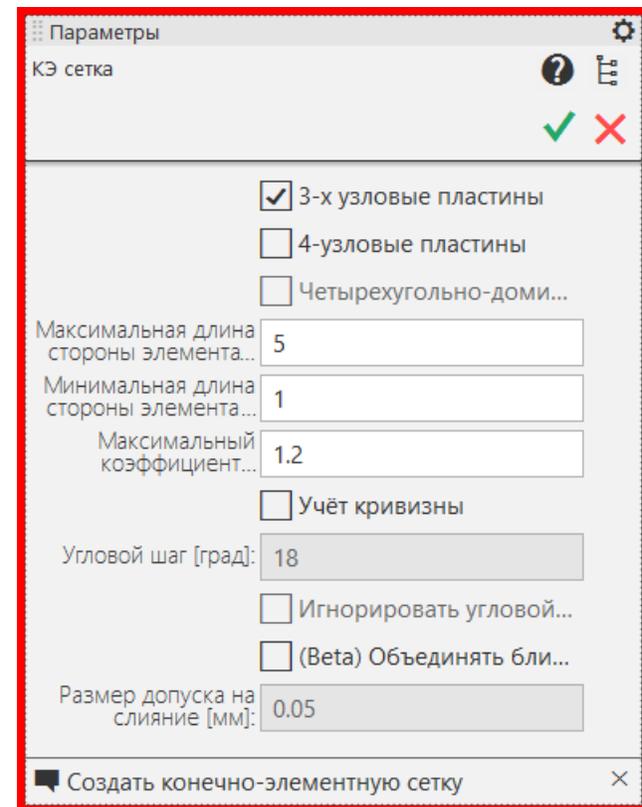
При выборе основных параметров сетки есть выбор типа КЭ!!!



Треугольная  
пластина



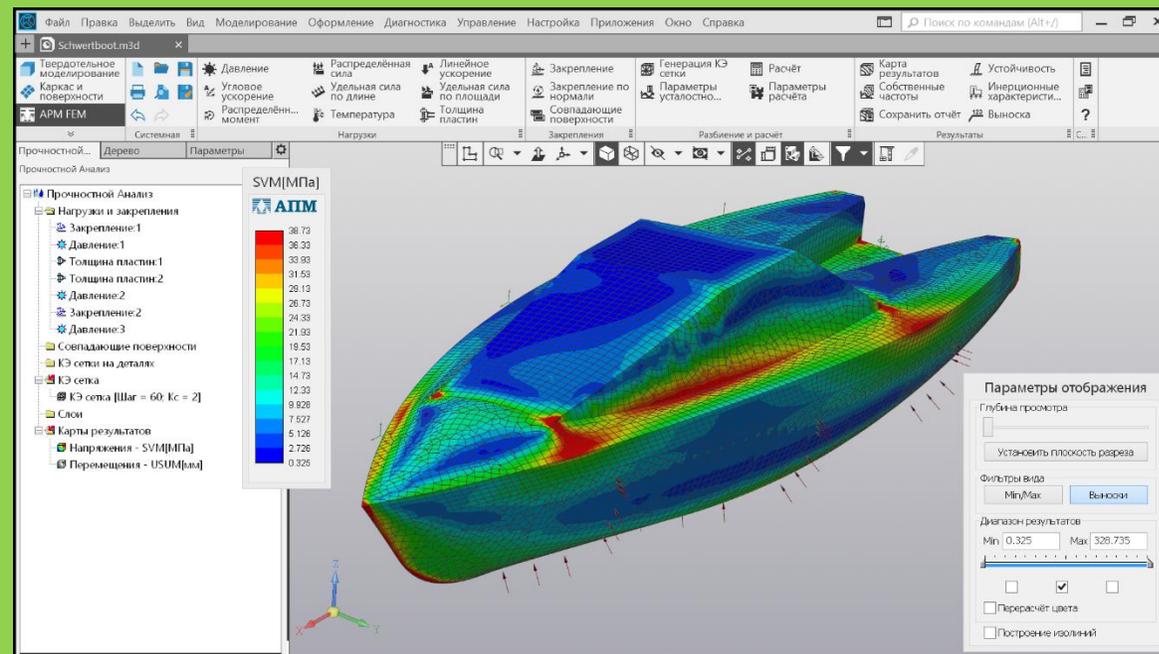
Четырехугольная  
пластина



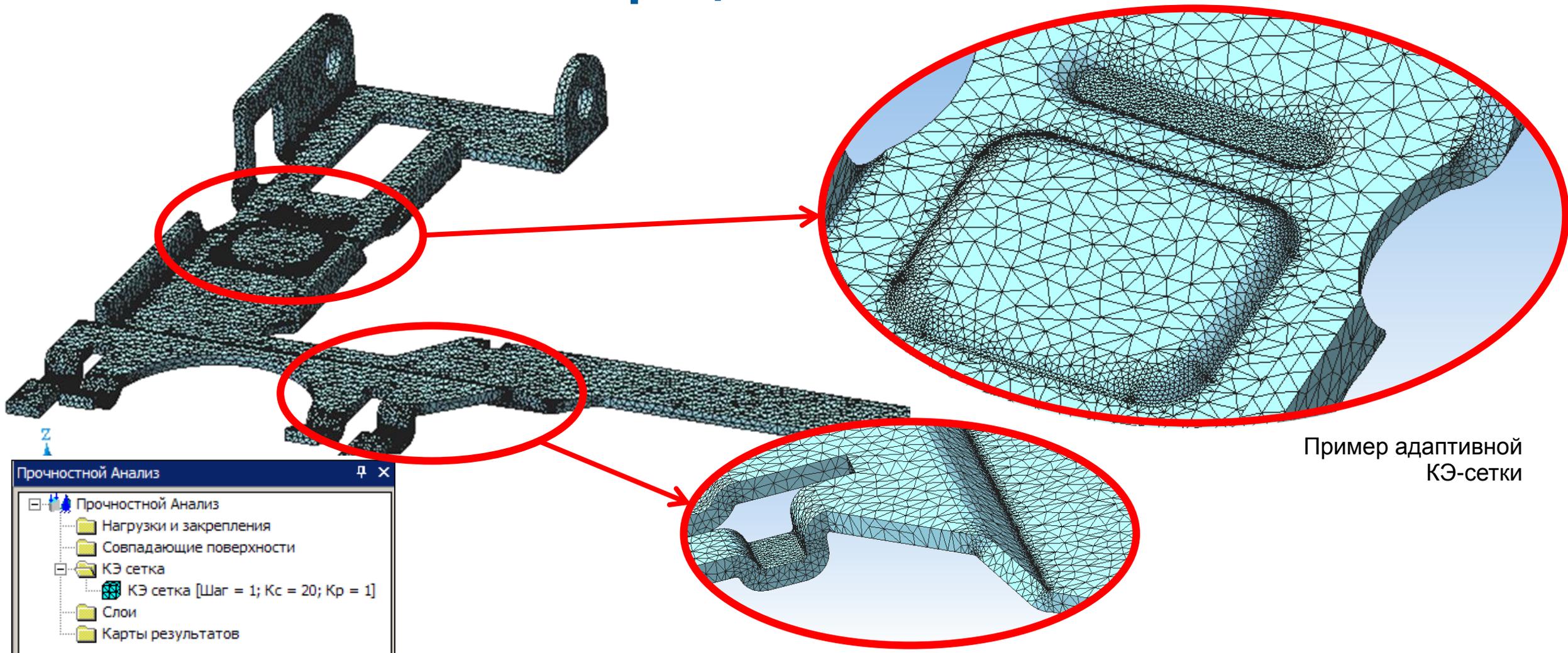
- ✓ Применяется для расчета тонкостенных объектов
- ✓ Сокращение времени создания КЭ-сеток  
(за счет меньшего требуемого количества конечных элементов)
- ✓ Сокращение на порядок времени расчета
- ✓ Сохранение необходимой инженерной точности вычислений
- ✓ Уменьшение объема информации, хранимой на жестком диске
- ✓ Увеличение производительности труда

## Что дает расчет поверхностных моделей?

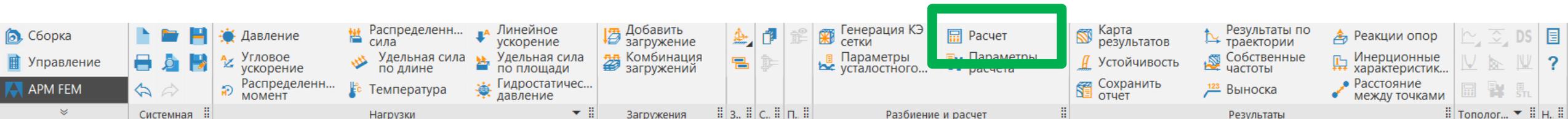
- ✓ **Возможность быстрой оптимизации конструкции (подбор толщин пластин)**
- ✓ **Ускорение расчетов за счет меньшего количества КЭ**
- ✓ **Снижение требований к быстродействию ПК и размеру ОЗУ**
- ✓ **Сокращение объема данных, хранимых на жестком диске**



## Автоматическая генерация конечно-элементной сетки

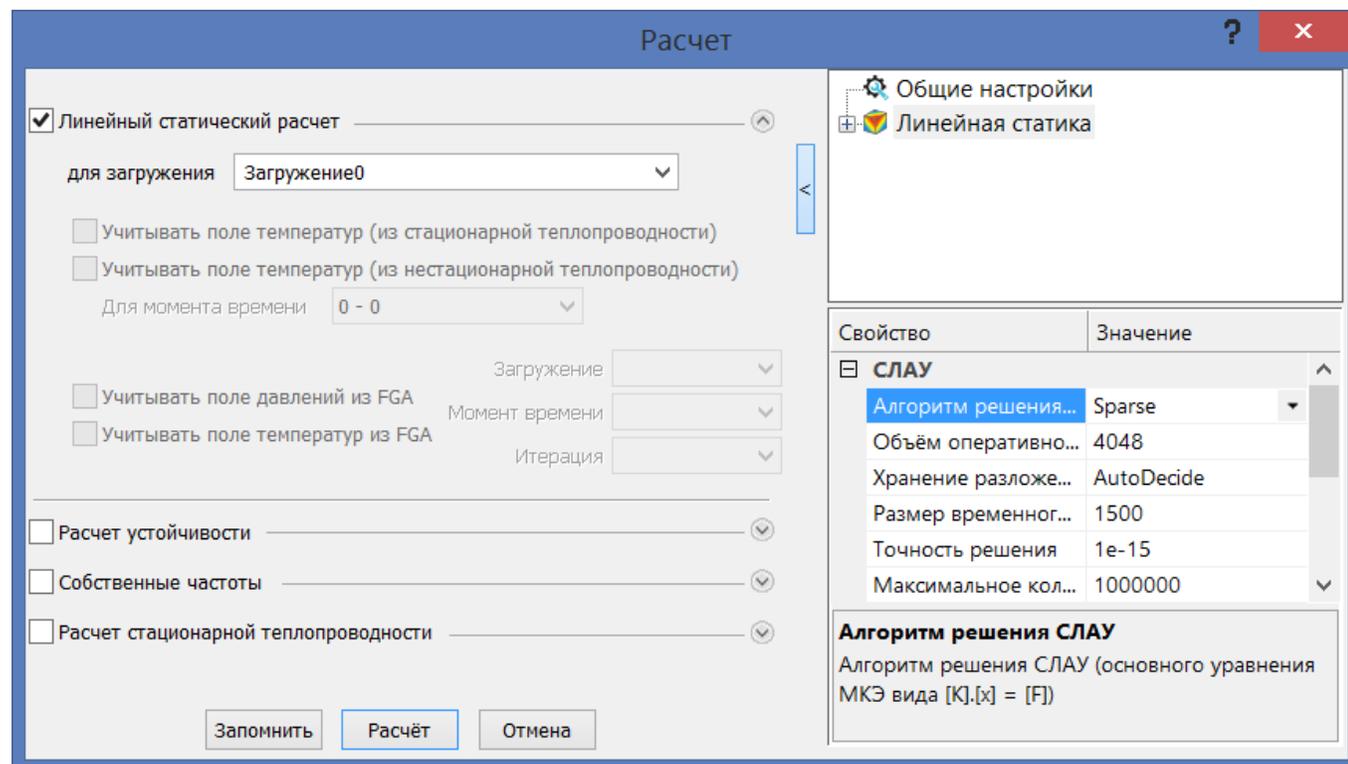


## Выбор типа расчета

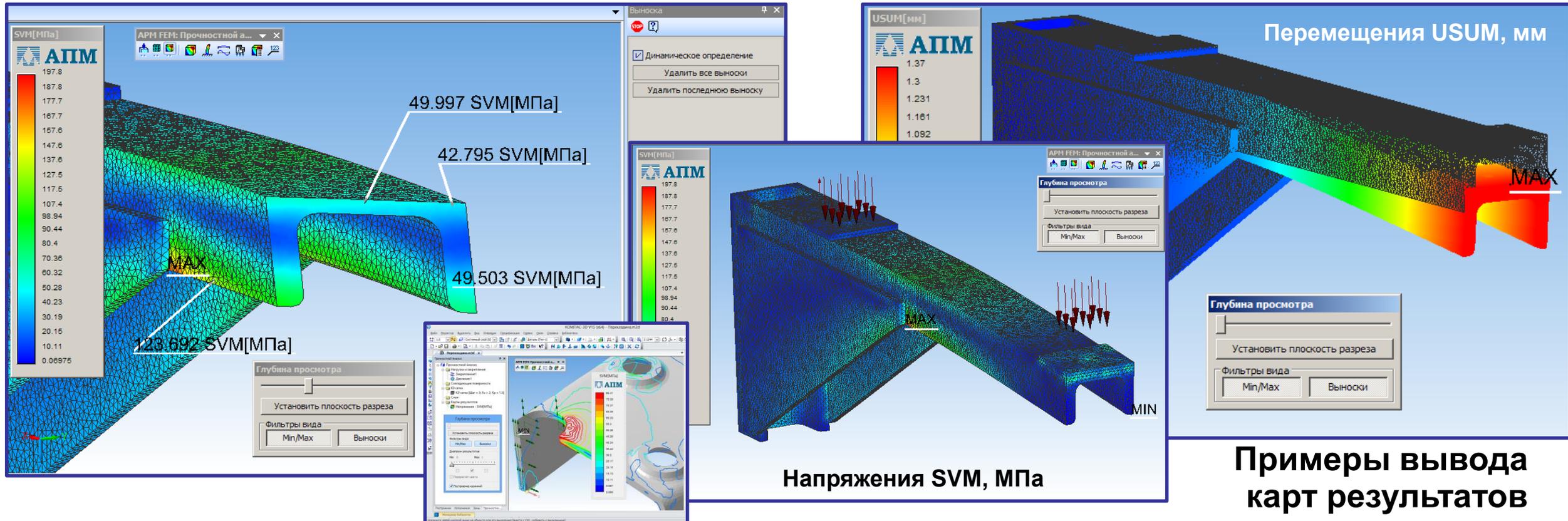


### Расчеты доступные в APM FEM:

- ✓ Линейный статический расчет
- ✓ Усталостный расчет
- ✓ Расчет устойчивости
- ✓ Расчет собственных частот (резонанса) и собственных форм колебаний
- ✓ Решение задачи стационарной теплопроводности
- ✓ Решение задачи термоупругости (при совместном выполнении статического и теплового расчетов)
- ✓ Топологическая оптимизация

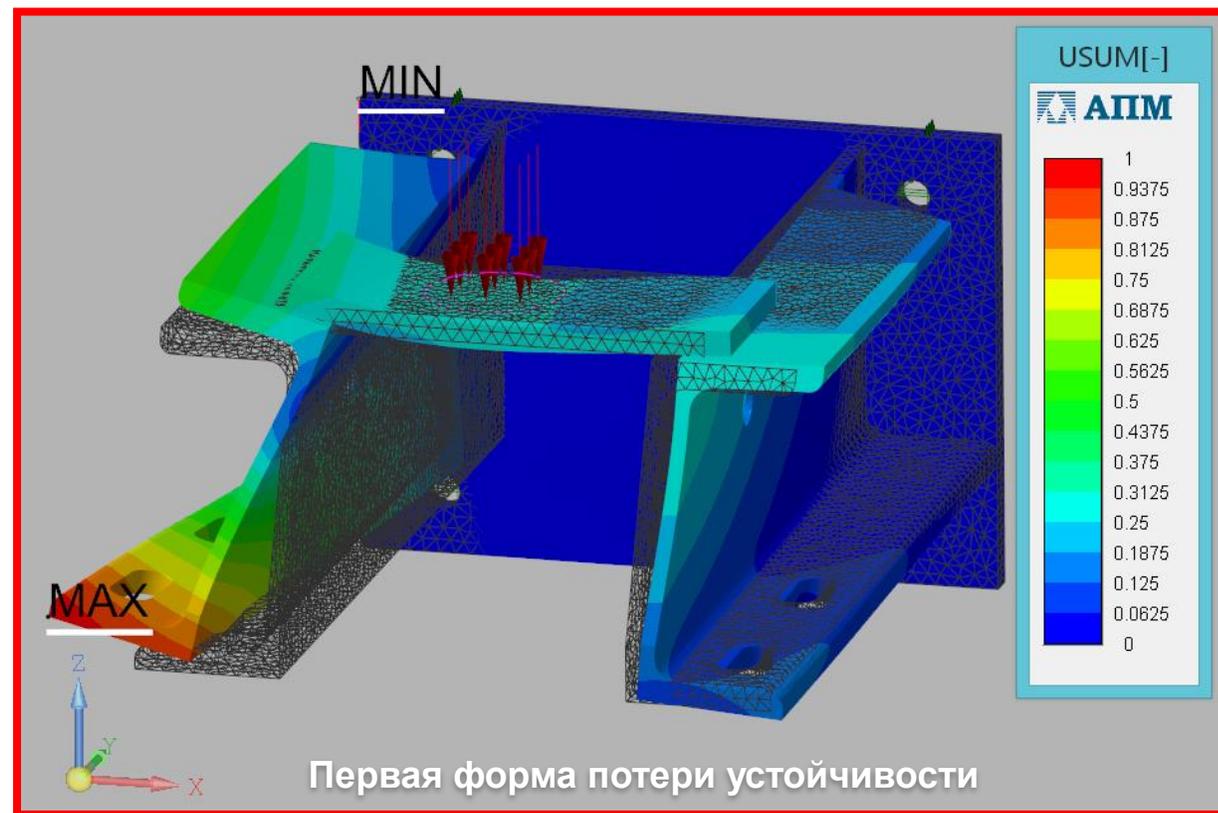
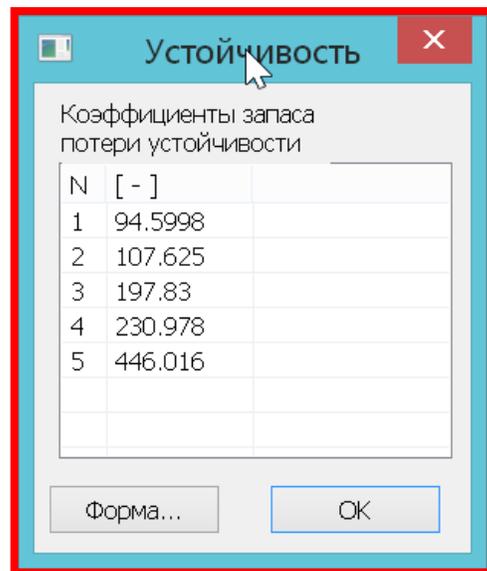
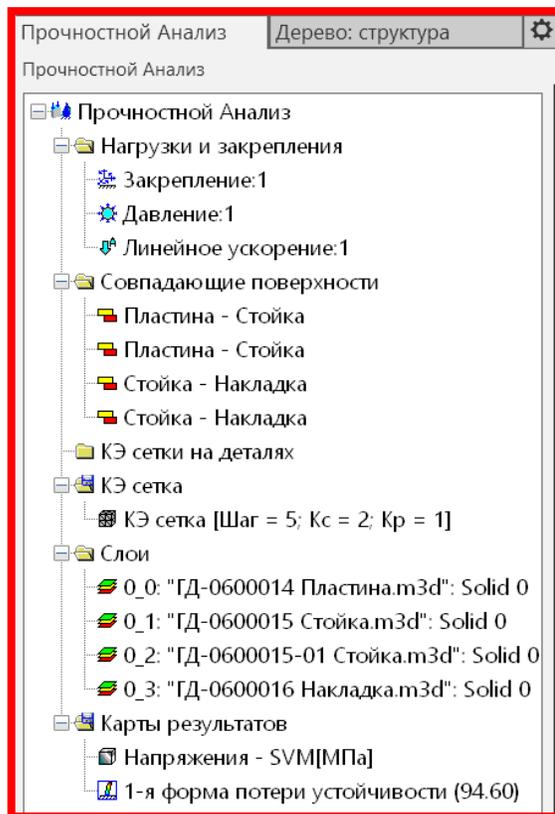
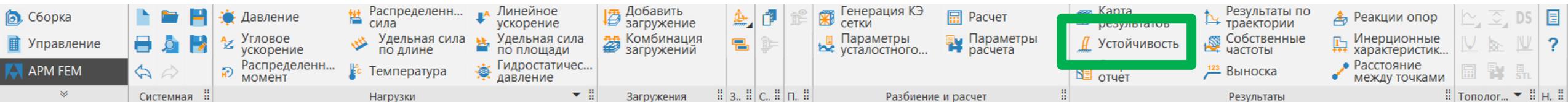


## Статический расчет

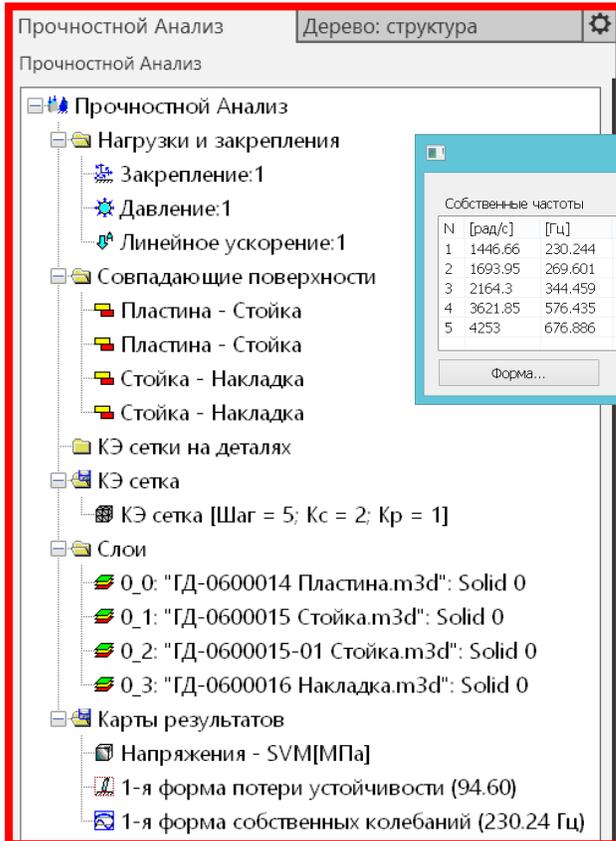
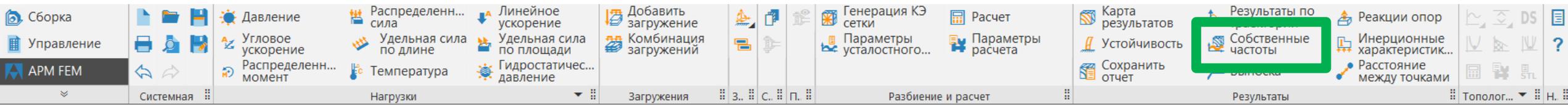




## Расчет устойчивости

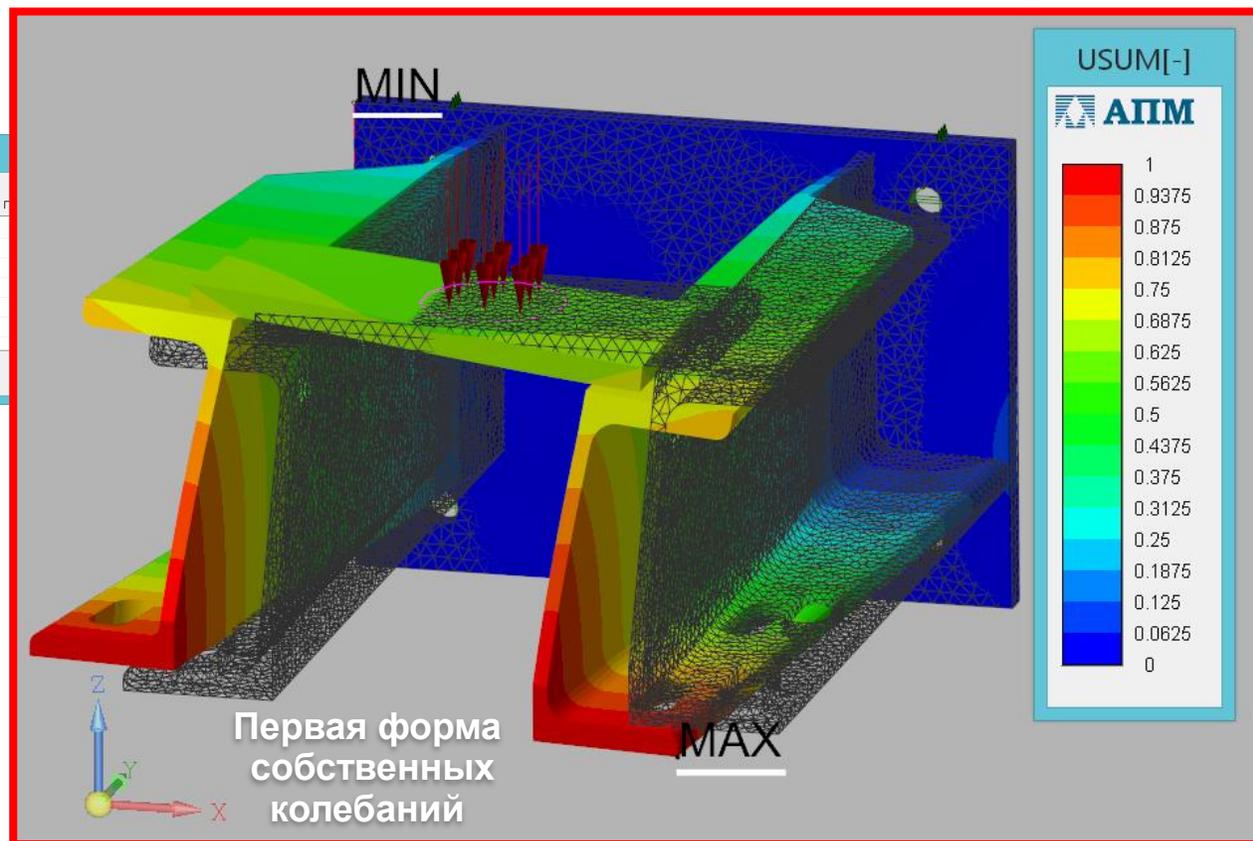


## Расчет собственных частот (с предварительным нагружением)

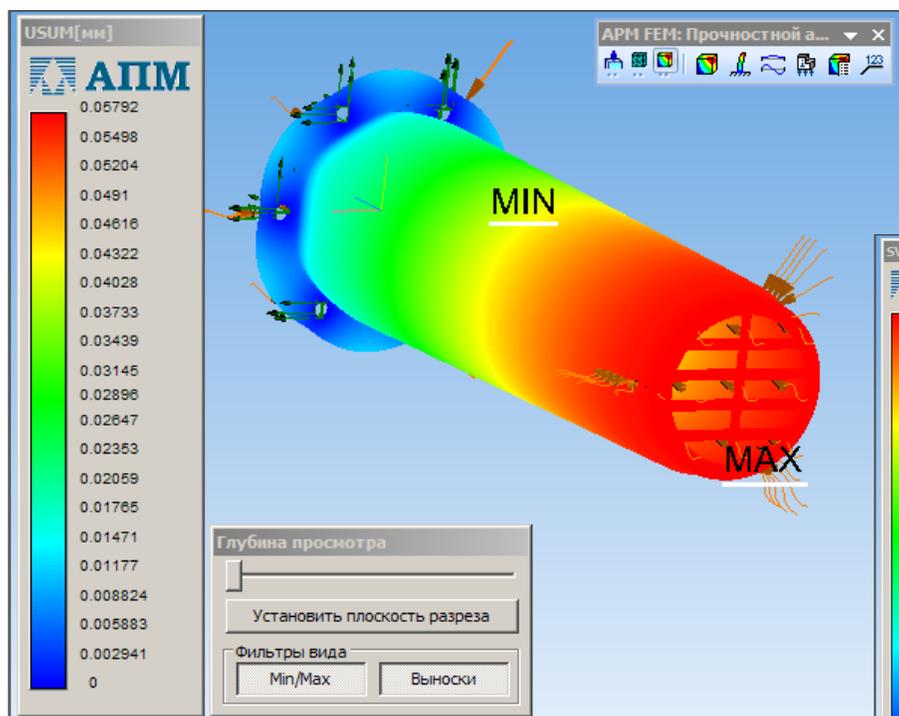
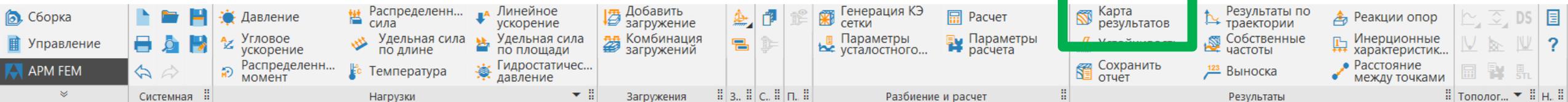


Частоты собственных колебаний

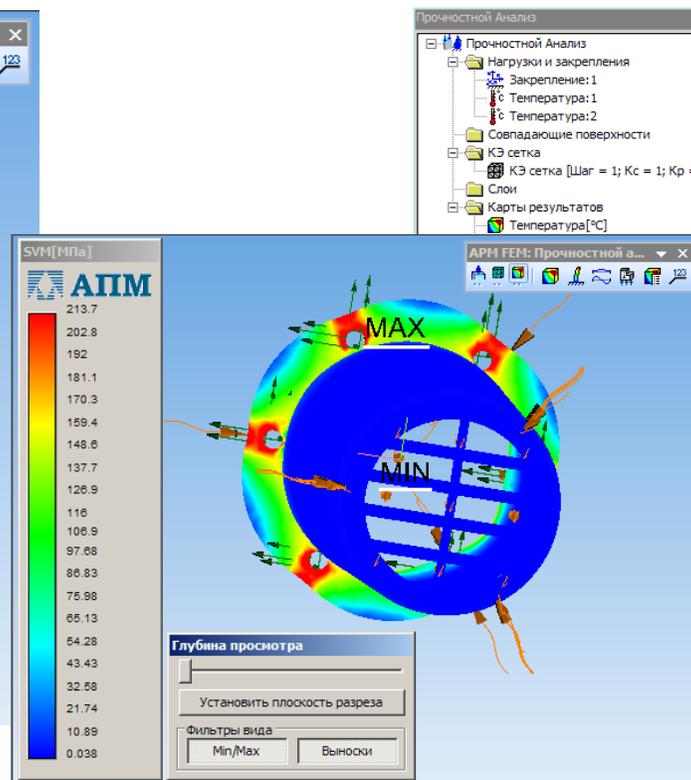
N	Собственные частоты			Модальные массы (м.м.) и суммы модальных масс (с.м.м.) г					
	[рад/с]	[Гц]	[с]	м.м. X [%]	с.м.м. X [%]	м.м. Y [%]	с.м.м. Y [%]	м.м. Z [%]	с.м.м. Z [%]
1	1446.66	230.244	0.00434322	51.9	51.9	6.47e-008	6.47e-008	0.001	0.001
2	1693.95	269.601	0.00370919	0.00361	51.9	0.0297	0.0297	9.74	9.74
3	2164.3	344.459	0.00290311	1.99	53.9	4.97e-006	0.0297	9.77e-005	9.74
4	3621.85	576.435	0.0017348	0.000498	53.9	0.698	0.727	38.8	48.6
5	4253	676.886	0.00147735	2.9	56.8	1.28e-005	0.727	0.00451	48.6



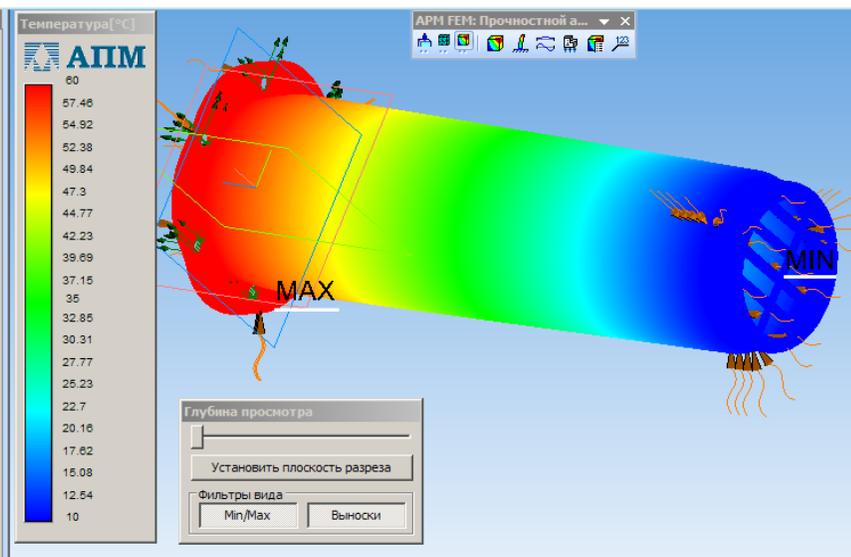
## Тепловой расчет. Задача термоупругости



Карта перемещений

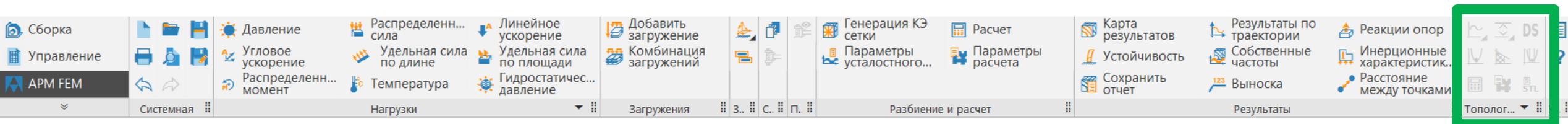


Карта напряжений



Карта распределения  
поля температур

## Топологическая оптимизация

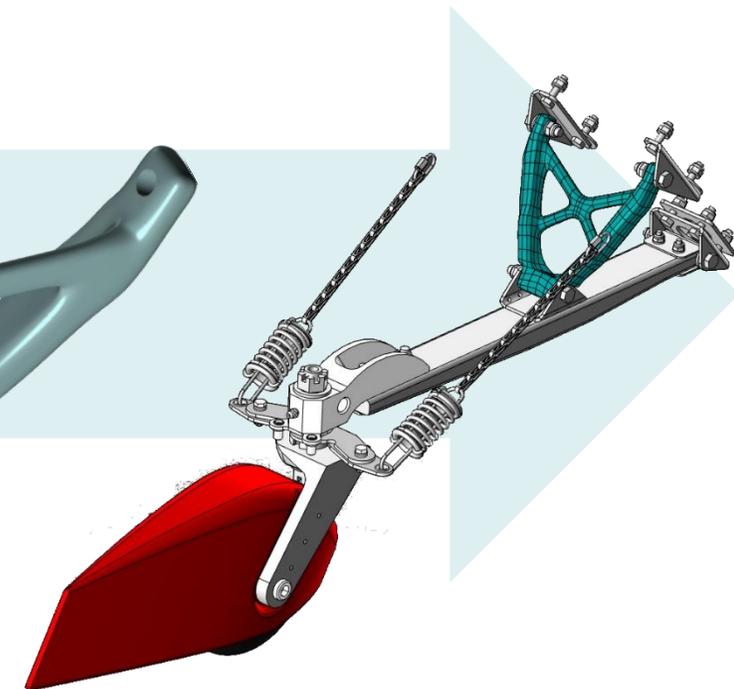
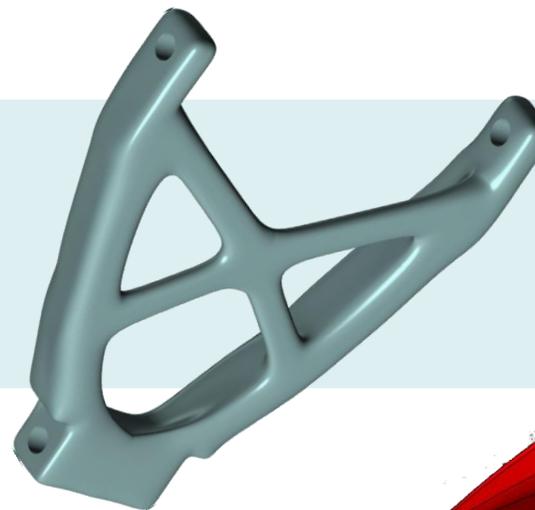
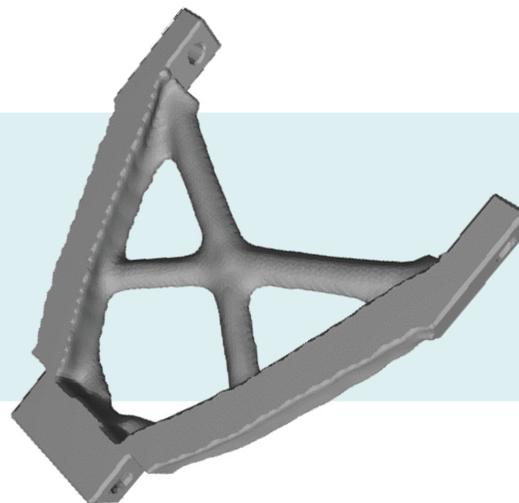
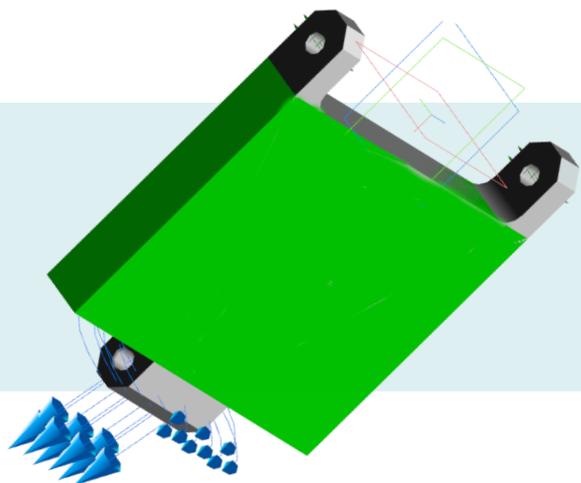


**Задание исходных данных**

**Результат оптимизации**

**Постобработка**

**Деталь в сборке**



 - неизменяемая область

 - область проектирования

## Сохранение файла отчета Два формата сохранения: \*.xml, \*.html



### Bracket

**Информация о проекте**

Организация	
Автор	
Дата создания отчета	17.05.2016, 01:56:00
Исполнительная программа	APM FEM для КОМПАС-3D V16 (64-bit)
Путь к файлу	C:\Program Files\ASCON\COMPAS-3D V16\Sample\Models\Bracket.m3d

**Ссылки**

- Видение
- Модель
- История изменений
- История изменений
- История изменений
- Конечно-элементная сетка
- Результаты
- Выводы

**1) Введение**

**2) Модель**



**3) Информация о материалах**

N	Имя материала	Материал
1	C:\Program Files\ASCON\COMPAS-3D V16\Sample\Models\Bracket.m3d	Сталь

**Назначение материала: Сталь**

Плотность [кг/м³]	235	По-умолчанию
Модуль упругости (нормальный) [МПа]	200000	По-умолчанию
Коэффициент Пуассона	0.3	По-умолчанию
Плотность [кг/м³]	7800	По-умолчанию
Температурный коэффициент линейного расширения [1/°C]	0.000012	По-умолчанию
Температуропроводность [Вт/(м·°C)]	55	По-умолчанию
Прочность при растяжении [МПа]	410	По-умолчанию
Прочность при сжатии [МПа]	309	По-умолчанию
Прочность при изгибе [МПа]	139	По-умолчанию

**4) Информация о нагрузках**

Имя нагрузки	Вид нагрузки	Параметры нагрузки
Распределенная сила	Группа: 4	Вектор силы: X=-621.915064, Y=Z=0
Распределенная сила.1		Вектор силы: 1500 N

**5) Информация о загрузках**

Имя загрузки	Вид загрузки	X [мм]	Y [мм]	Z [мм]	Rot. X [град]	Rot. Y [град]	Rot. Z [град]
Загрузка: 1	Группа: 2						
Загрузка: 2	Группа: 3						
Загрузка: 3	Группа: 4						

**6) Конечно-элементная сетка**

**Параметры результатов расчета**

Имя результата	Значение
Тип элемента	10-ти узловая тетраэдр
Максимальная длина стороны элемента [мм]	4
Максимальный коэффициент сжатия по деформации	1
Коэффициент сжатия в объеме	1
Количество элементов в модели	45391
Количество узлов	80554



**7) Результаты**

Расчетное поле системы APM FEM для КОМПАС-3D является частью «Конечно-элементная программа» системы APM Structural3D. Адрес: 409000, г. Владивосток, ул. Коммунальная, 48Б. Контактный телефон: +7 (423) 222-1111. Электронная почта: info@apm.com

**Универсальная характеристика**

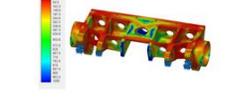
Имя значения	Значение
Масса модели [кг]	1.84227
Центр тяжести модели [мм]	(0.02128; 0.013116; -0.0000)
Моменты инерции модели относительно центра масс [кг·мм²]	(0.014395; 0.015; 0.00166)
Реакции опор относительно центра масс [Н]	(0.43823; -0.12355; -55.742)
Суммарная реакция опор [Н]	(620.024309; -403.568622; 0)
Абсолютное значение реакции [Н]	739.796111
Абсолютное значение момента [Н·мм]	55.747239

**Результаты статического расчета**

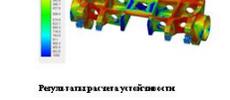
Имя значения	Тип	Минимальное значение
Максимальное значение перемещения по Меньше	SVM [мм]	0.019



Имя значения	Тип	Минимальное значение
Максимальное значение перемещения по Больше	SVM [мм]	0.019



Имя значения	Тип	Минимальное значение
Суммарное значение перемещения	USUM [мм]	0



**Коэффициент запаса по устойчивости**

N	Коэффициент запаса по устойчивости
1	0.000305

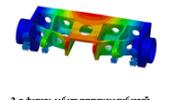
**1-я форма собственных колебаний**



**Результаты расчета собственных частот**

N	Частота [Гц/сек]	Число
1	9746.587764	1531
2	14811.744641	2337
3	15696.947425	2499
4	21072.435927	3353
5	25968.401801	4132

**2-я форма собственных колебаний**



**3-я форма собственных колебаний**



**4-я форма собственных колебаний**



**5-я форма собственных колебаний**



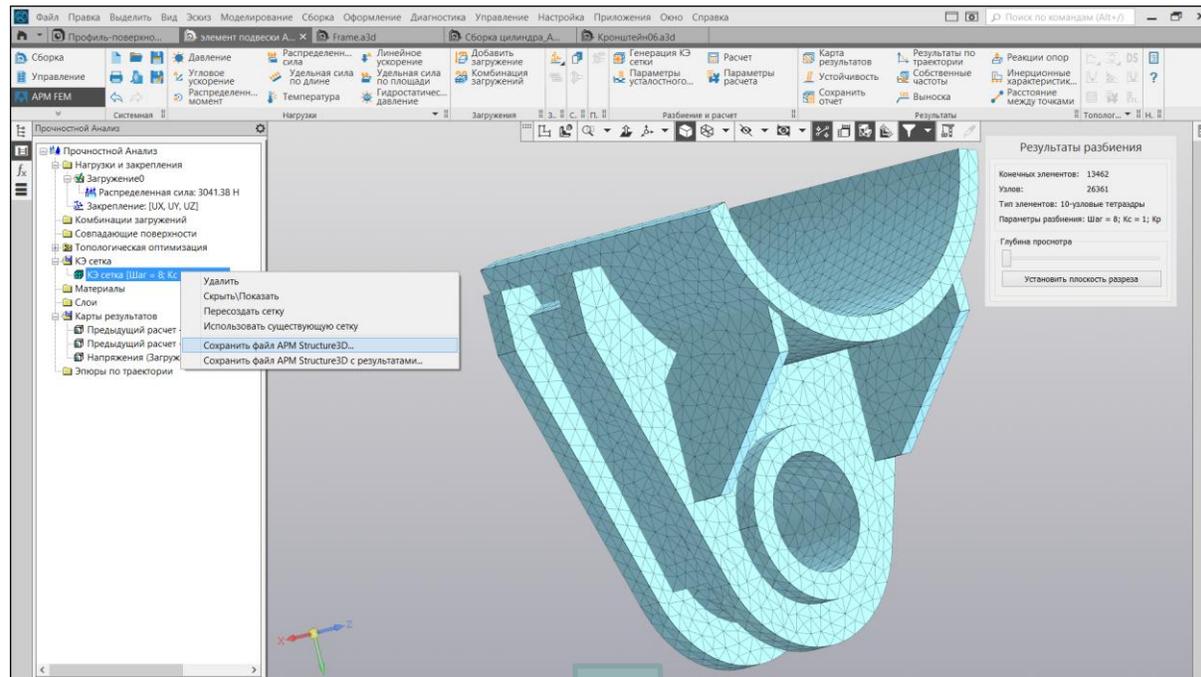
**6) Заключение**

## Интеграция APM FEM и APM WinMachine

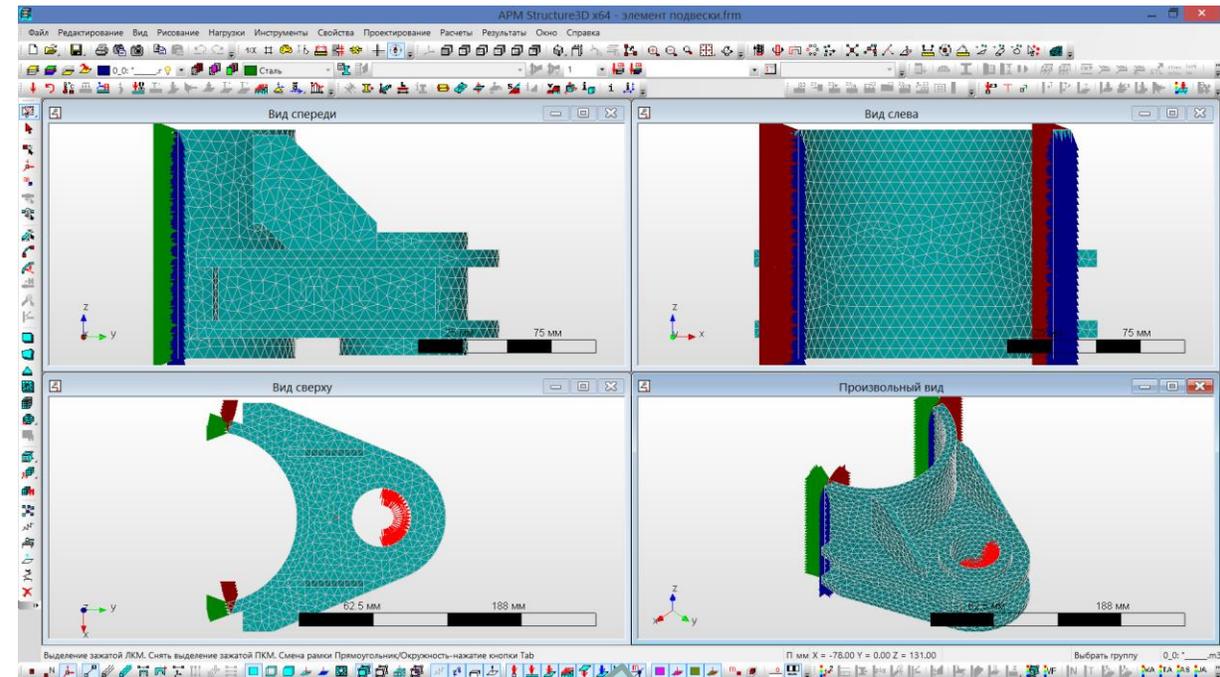
Если возможностей APM FEM не хватает, то необходимо передать расчетную модель в модуль прочностного анализа APM Structure3D, который является расчетным ядром российской САЕ-системы APM WinMachine (разработка НТЦ «АПМ»)



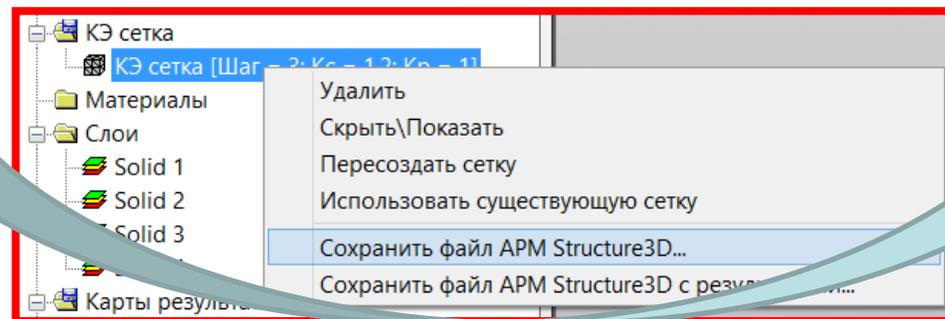
## Интеграция APM FEM и APM WinMachine



КОМПАС-3D



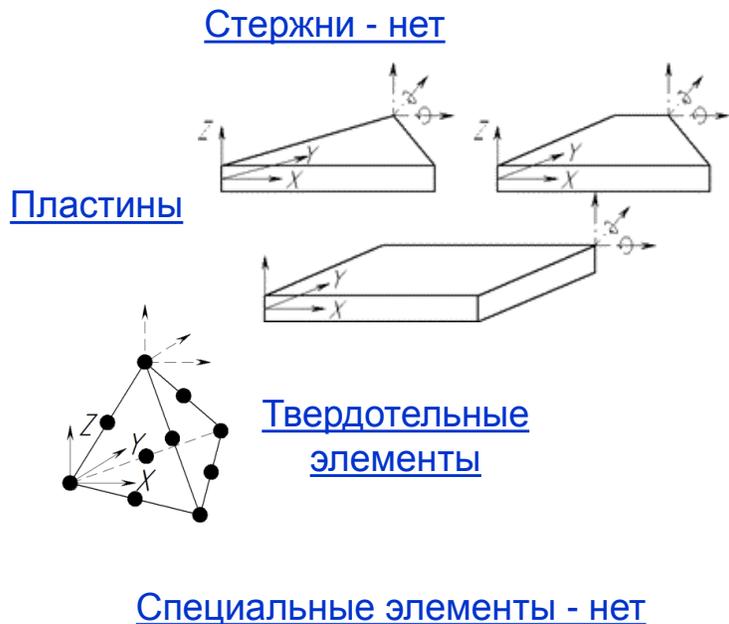
APM Structure3D



## Сравнение применяемых типов конечных элементов

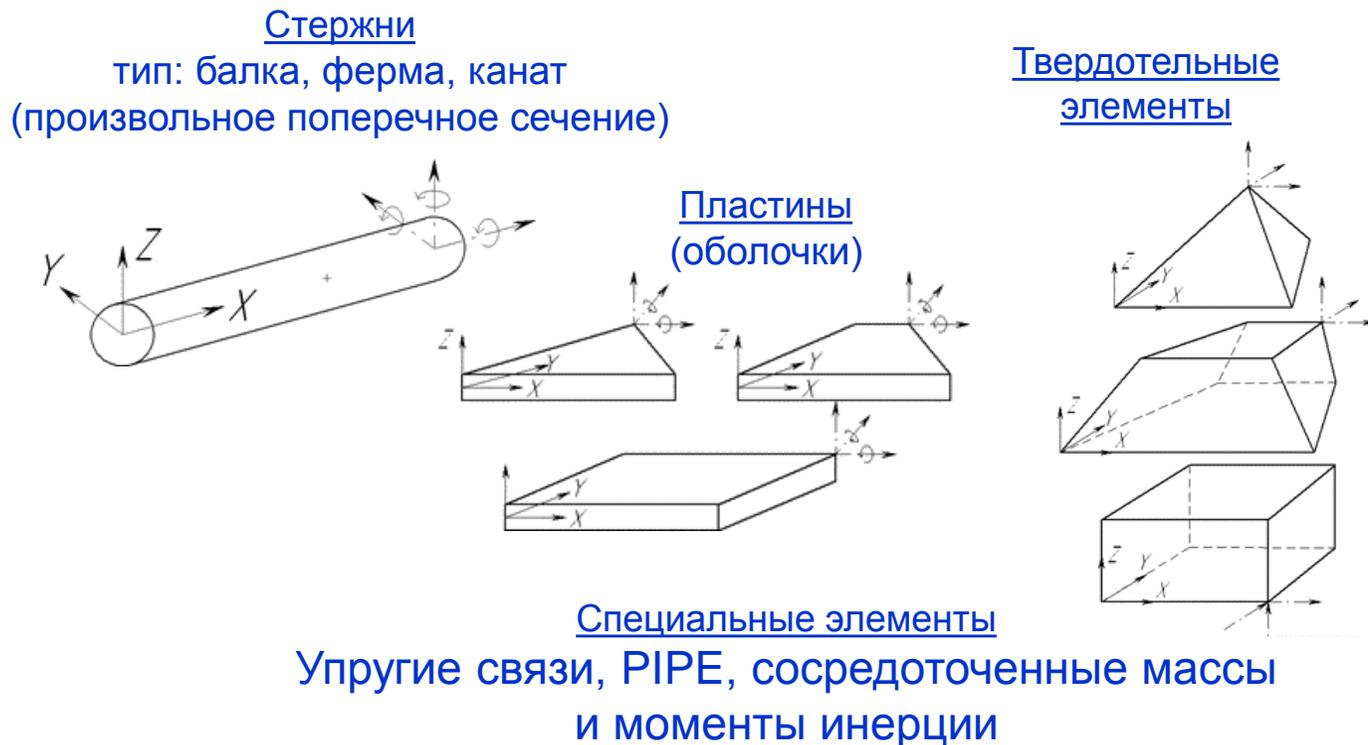
### APM FEM

Система прочностного анализа  
для КОМПАС-3D



### APM Structure3D

Модуль расчета напряженно-деформированного состояния, устойчивости,  
собственных и вынужденных колебаний деталей и конструкций

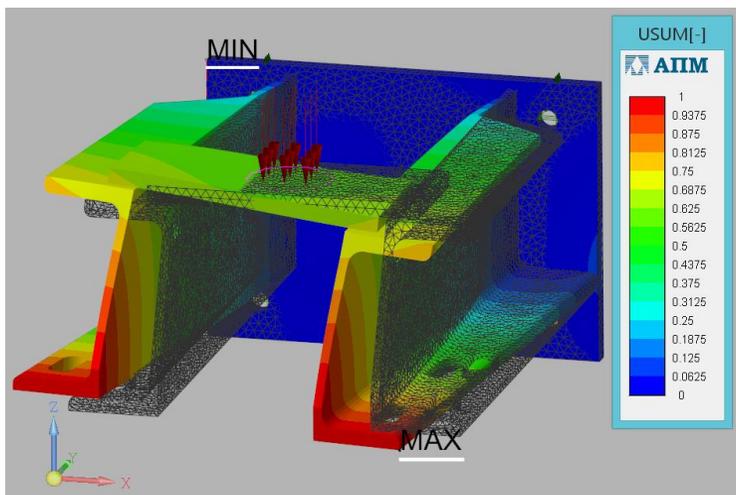




## СРАВНЕНИЕ РЕШАЕМЫХ ЗАДАЧ

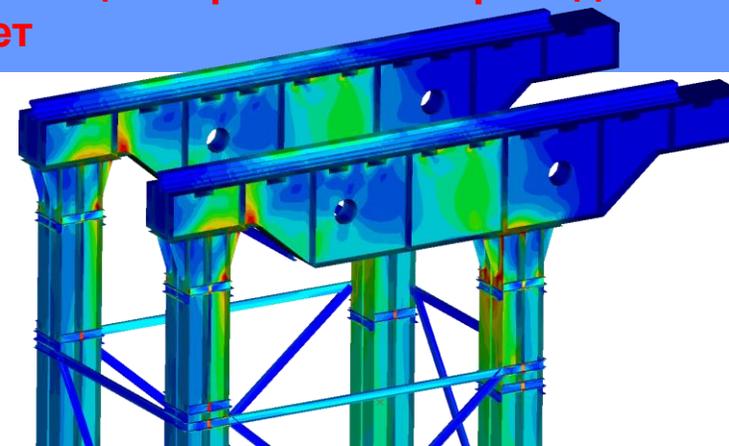
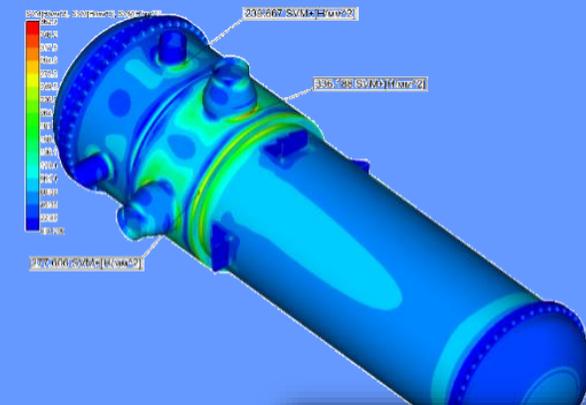
### Перечень расчетов в APM FEM

- Статический расчет
- Расчет устойчивости
- Расчет собственных частот
- Расчет стационарной теплопроводности
- Топологическая оптимизация



### Перечень расчетов в APM Structure3D

- Статический расчет
- Расчет устойчивости
- Расчет собственных частот
- **Нелинейный расчет**
- **Топологическая оптимизация+**
- **Вынужденные колебания**
- **Усталостный расчет**
- Расчет стационарной теплопроводности
- **Расчет нестационарной теплопроводности**
- **FSI-расчет**



**Когда РЕКОМЕНДУЕТСЯ применять  
систему АРМ FEM ?**

## Объекты, для которых рекомендуется применение APM FEM

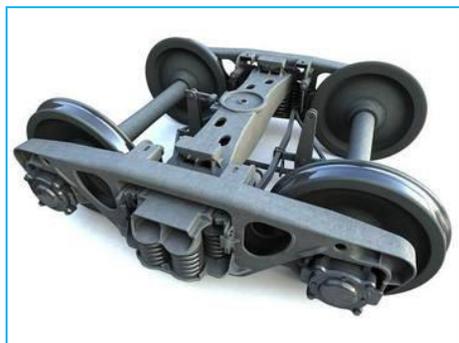
Арматура и элементы трубопроводов



Устройства удержания и закрепления



Элементы  
подвижного состава ЖД



Корпусные детали различных машин  
и их частей



Элементы автомобилей



И тому  
подобное...

## Объекты, для которых НЕ рекомендуется применение APM FEM

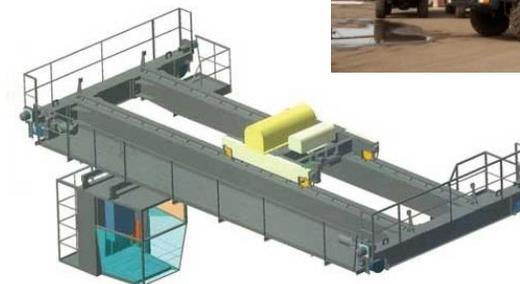
Сборки с большим количеством  
разноразмерных деталей



Строительные металлоконструкции  
и конструкции из тонкого листового металла



Крановые конструкции  
в сборе



Изделия из  
НЕ металлических  
материалов



И тому  
подобное...

## Преимущества использования системы APM FEM

- **Единый интерфейс КОМПАС-3D**

Как для геометрической, так и для расчетной модели КОМПАС-3D обеспечивает простоту и легкость работы. Все действия по созданию 3D-модели, её расчету и просмотру результатов осуществляются в едином окне.

- **Единое геометрическое ядро**

Система конечно-элементного анализа работает напрямую с геометрической моделью КОМПАС-3D. Нет необходимости передачи файлов через сторонние форматы, что снижает вероятность появления ошибок.

- **Приемлемая цена**

APM FEM – простое и недорогое решение, которое позволяет без приобретения «тяжелой» полнофункциональной CAE-системы проводить оценку прочности элементов конструкции.

- **Интеграция с полнофункциональной CAE системой APM WinMachine**

При возникновении необходимости анализа прочности сложных деталей и сборок с учетом нелинейного поведения материала, а также для решения задач динамического анализа **подготовленная расчетная задача может быть передана в модуль прочностного анализа APM Structure3D системы APM WinMachine.**

- **Техническое сопровождение**

Компания-разработчик находится в России. Всегда есть возможность получать своевременную квалифицированную помощь по всем вопросам, возникающим при решении реальных расчетных задач.



# Спасибо за внимание!

**Компания НТЦ «АПМ»  
(научно-технический центр)  
Московская область, г. Королев  
Октябрьский бульвар, д. 14, офис 6  
Тел.: (495) 120-58-10  
Internet: [www.apm.ru](http://www.apm.ru)  
E-mail: [com@apm.ru](mailto:com@apm.ru)**