

# ПРОЧНОСТНЫЕ РАСЧЁТЫ. НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ АРМ WINMACHINE

**Сергей Розинский**

Директор по развитию, НТЦ «АПМ»



# APM WinMachine

## ОСНОВНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ

Линейный и нелинейный статический расчёт

Стационарная / нестационарная теплопроводность

Термоупругость

Устойчивость

Усталостный расчёт (выносливость)

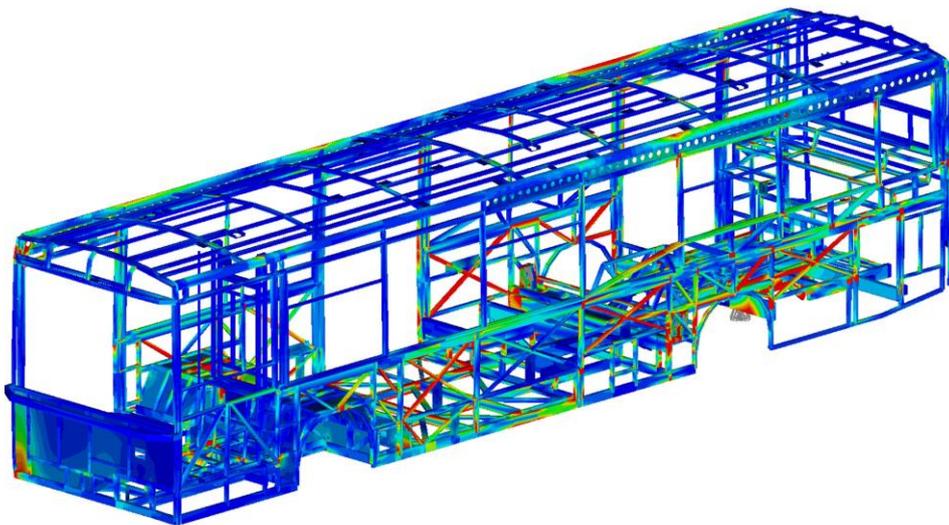
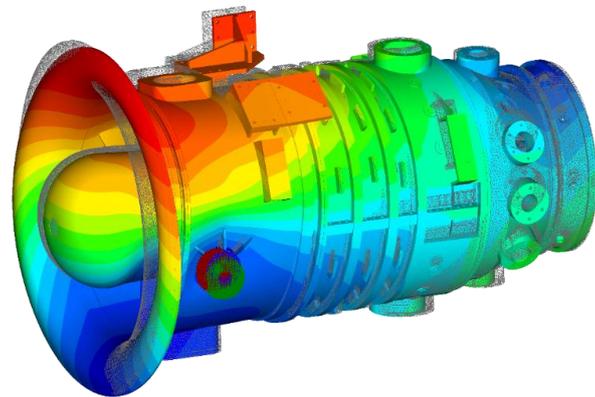
Собственные частоты

Гармонический анализ, ШСВ

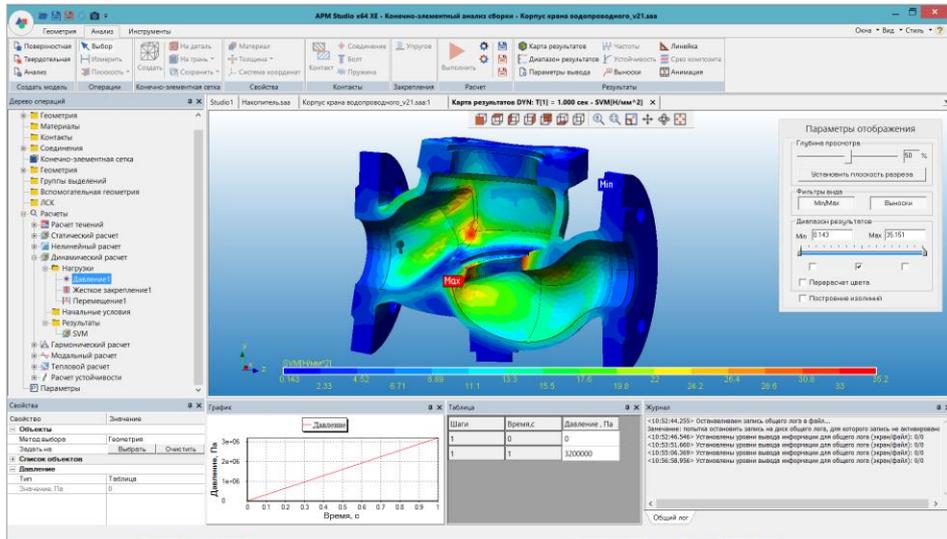
Динамический анализ

Топологическая оптимизация

Одно- и двухсторонний FSI

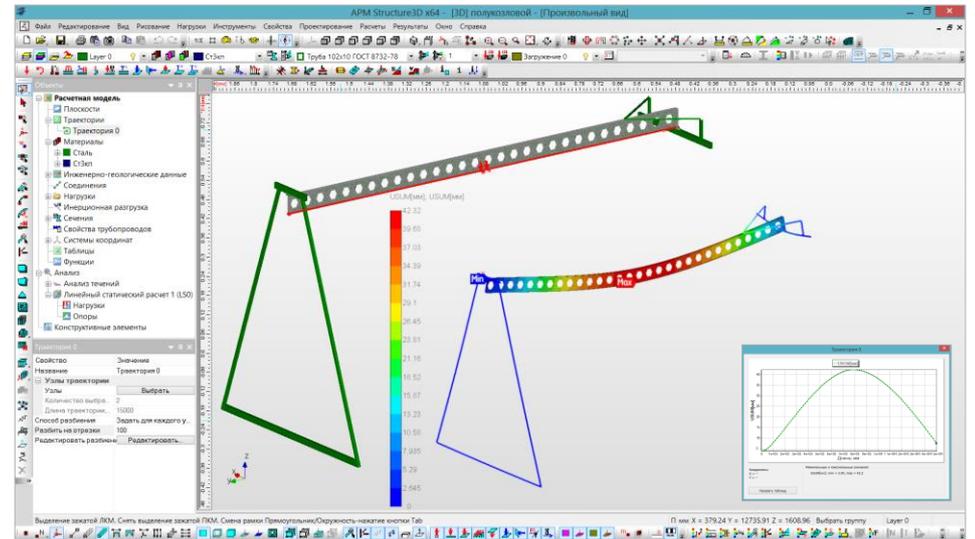


# APM WinMachine



## APM Studio

Модуль геометрического моделирования с инструментами конечно-элементного анализа



## APM Structure3D

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

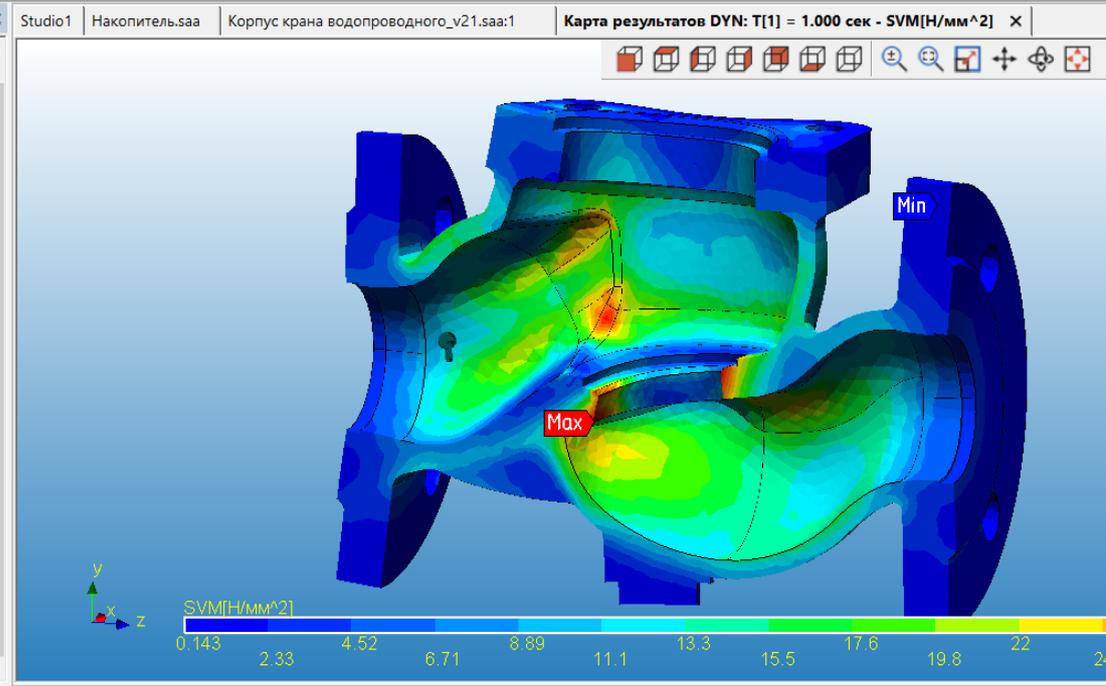
Геометрия | Анализ | Инструменты

Поверхностная | Выбор | На деталь | Материал | Соединение | Упругое | Выполнить | Карта результатов | Частоты | Линейка  
 Твердотельная | Измерить | На грань | Толщина | Болт | Диапазон результатов | Устойчивость | Срез композита  
 Анализ | Плоскость | Создать | Сохранить | Система координат | Контакт | Пружина | Параметры вывода | Выноски | Анимация

Создать модель | Операции | Конечнo-элементная сетка | Свойства | Контакты | Закрепления | Расчет | Результаты

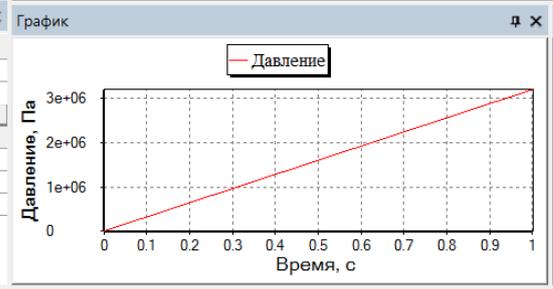
Дерево операций

- Геометрия
- Материалы
- Контакты
- Соединения
- Конечнo-элементная сетка
- Геометрия
  - Группы выделений
  - Вспомогательная геометрия
  - ЛСК
- Расчеты
  - Расчет течений
  - Статический расчет
    - Нелинейный расчет
    - Динамический расчет
      - Нагрузки
        - Давление1
        - Жесткое закрепление1
        - Перемещение1
      - Начальные условия
    - Результаты
      - SVM
  - Гармонический расчет
  - Модальный расчет
  - Тепловой расчет
  - Расчет устойчивости
  - Параметры



Свойства

Свойство	Значение
<b>Объекты</b>	
Метод выбора	Геометрия
Задать на	Выбрать   Очистить
<b>Список объектов</b>	
<b>Давление</b>	
Тип	Таблица
Значение, Па	0



Таблица

Шаги	Время, с	Давление, Па
1	0	0
1	1	3200000

Журнал

```
<10:52:44.255> Останавливаем запись общего лога в файл...
Замечание: попытка остановить запись общего лога, для которого не активирован вывод информации для общего лога (экран/файл): 0/0
<10:52:46.546> Установлены уровни вывода информации для общего лога (экран/файл): 0/0
<10:53:51.660> Установлены уровни вывода информации для общего лога (экран/файл): 0/0
<10:55:06.369> Установлены уровни вывода информации для общего лога (экран/файл): 0/0
<10:56:58.956> Установлены уровни вывода информации для общего лога (экран/файл): 0/0
```

Общий лог

Подготовка геометрии к расчёту

Настройка единиц измерений  
Параметры отображения

Отмена / повтор команд  
Установить плоскости разреза

Работа со всеми расчётами и ввод ГУ через дерево

Группы выделений

Специальные опции для контактов  
Построение изолинии

Контакт «поверхность-поверхность»

Новые ГУ

Генерация 8-ми узловой КЭ-сетки

Расширены возможности вывода результатов

# ЭТАПЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

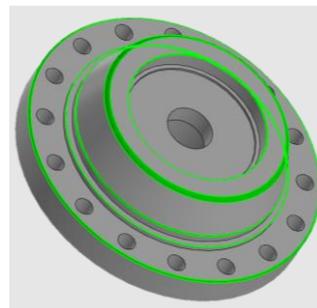
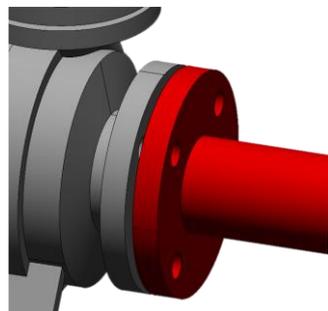
- 1** Подготовка геометрии к расчёту
- 2** Задание граничных условий
- 3** Генерация КЭ-сетки
- 4** Проведение расчёта
- 5** Вывод и анализ результатов

# ПОДГОТОВКА МОДЕЛИ К РАСЧЁТУ

КОНСТРУКТОРСКАЯ МОДЕЛЬ -> РАСЧЕТНАЯ МОДЕЛЬ

## Дополнительные построения

Дорисовка необходимых для расчета элементов,  
Разрезание детали на части

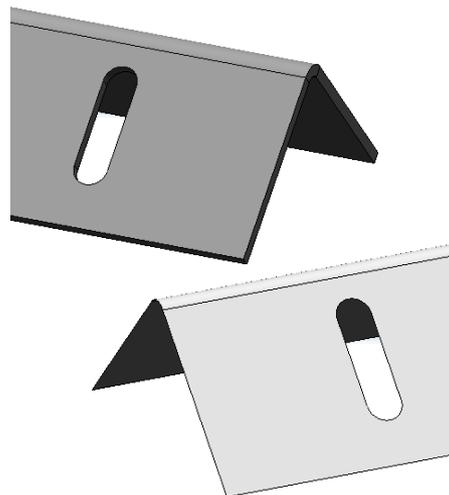
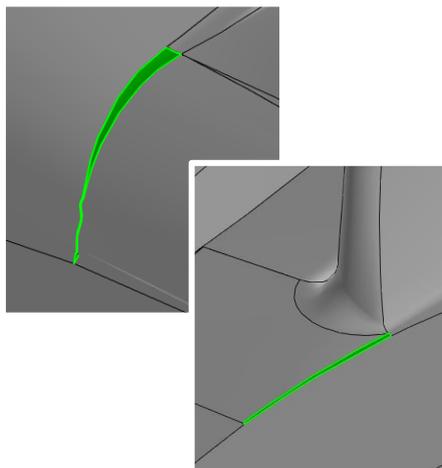


## Упрощение модели

Исключение крепежа, удаление фасок, скруглений, отверстий

## Исправление геометрии

Диагностика:  
Вырожденные ребра, грани или ребра с самопересечением



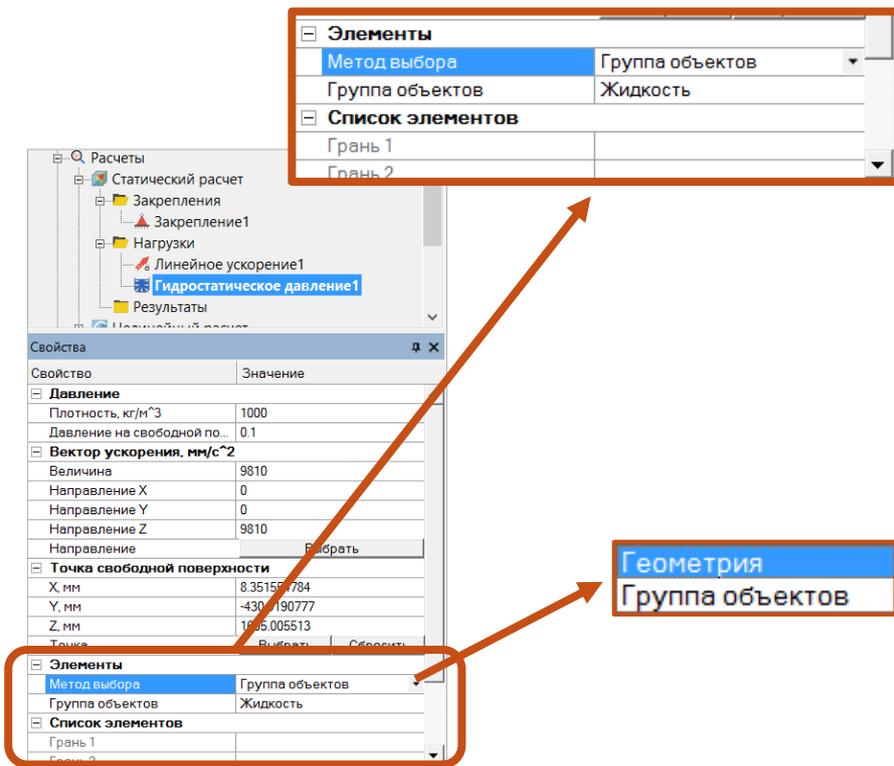
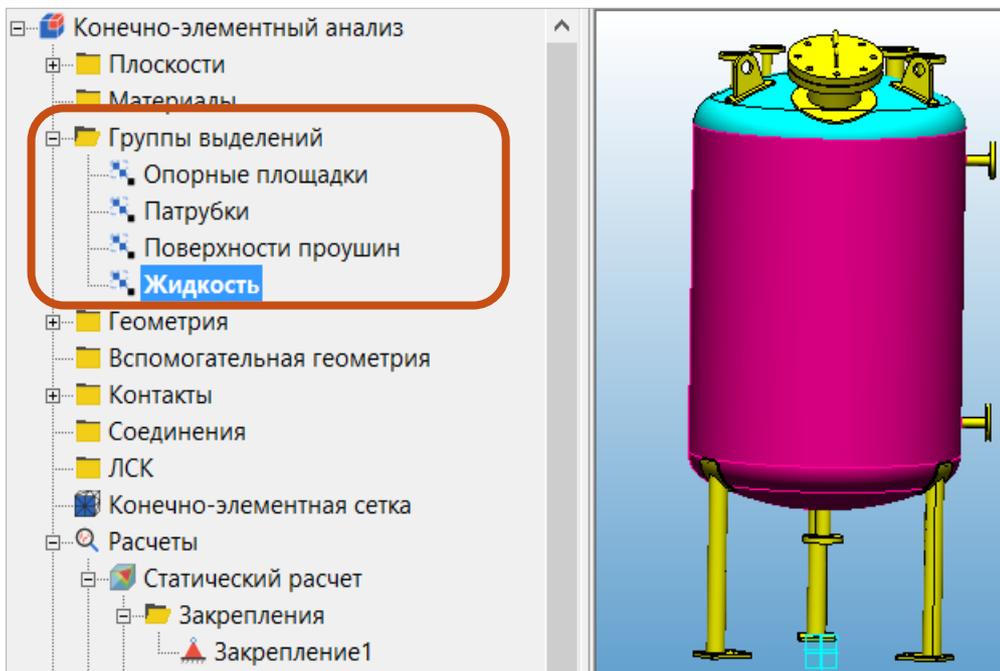
## Преобразование геометрии

Из твердотельной в поверхностную, в точечную массу, в балки (в разработке)

# ПОДГОТОВКА МОДЕЛИ К РАСЧЁТУ

КОНСТРУКТОРСКАЯ МОДЕЛЬ -> РАСЧЕТНАЯ МОДЕЛЬ

Объединение геометрии в группы



Геометрия  
Группа объектов

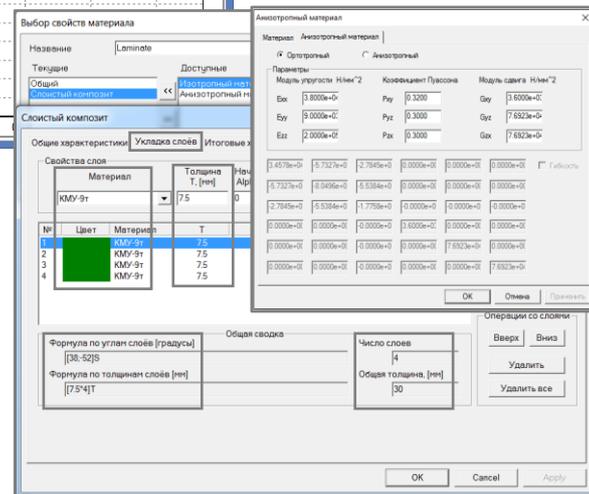
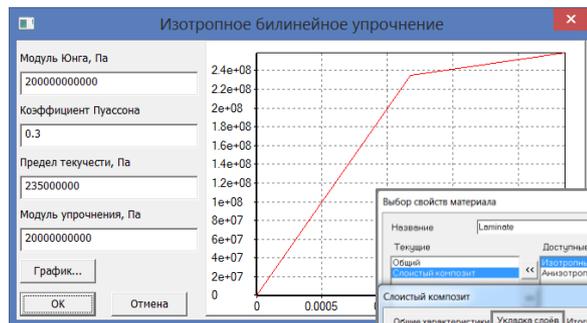
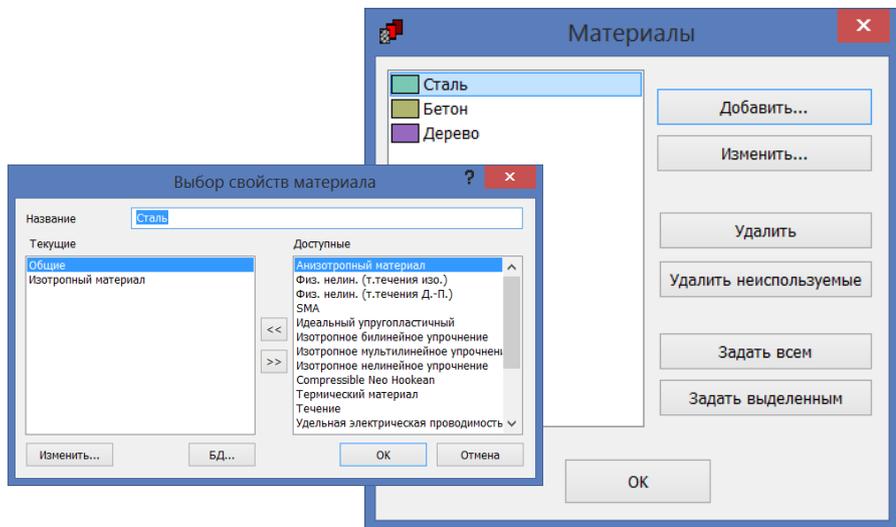
# ЗАДАНИЕ ГРАНИЧНЫХ УСЛОВИЙ

## МОДЕЛИ МАТЕРИАЛОВ

Линейно-упругие, в том числе композиты (ламинаты)

Упруго-пластичные

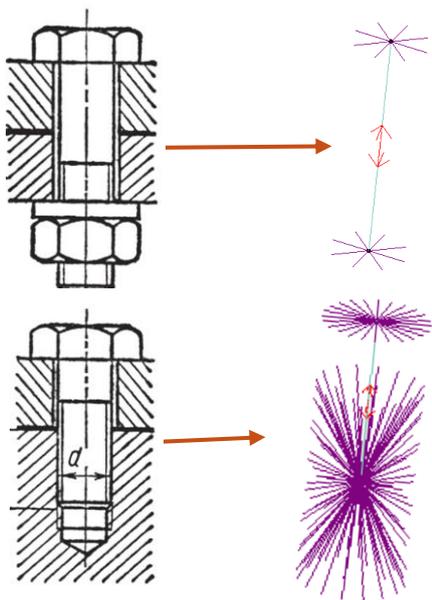
Гиперупругие (сжимаемый нео-Гука)



# ЗАДАНИЕ ГРАНИЧНЫХ УСЛОВИЙ

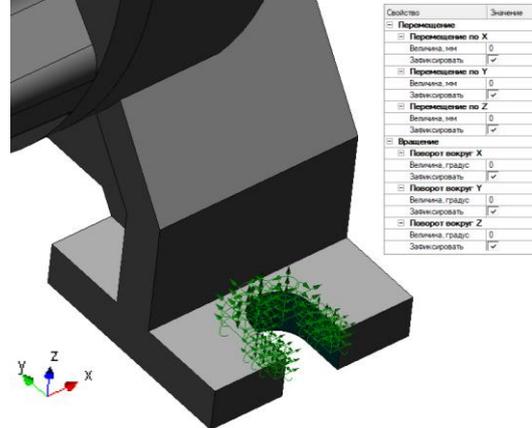
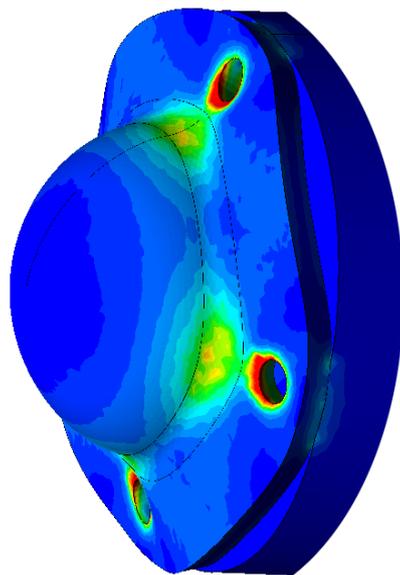
## СОЕДИНЕНИЯ

Жесткое  
Деформируемое  
Уравнение связи  
Балочное  
Болт  
Пружина



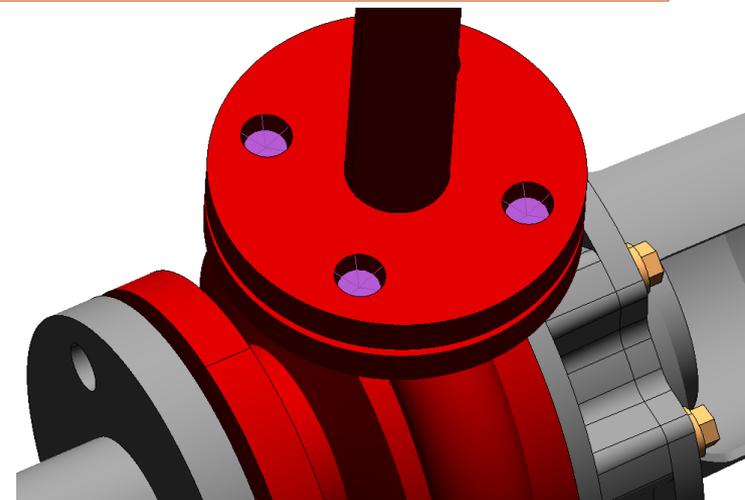
## ЗАКРЕПЛЕНИЯ

Жесткое  
Шарнирное  
Цилиндрическое  
По нормали  
Удаленное  
Упругое

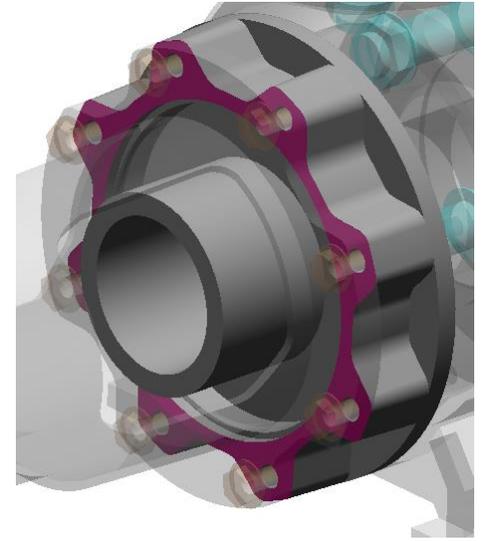
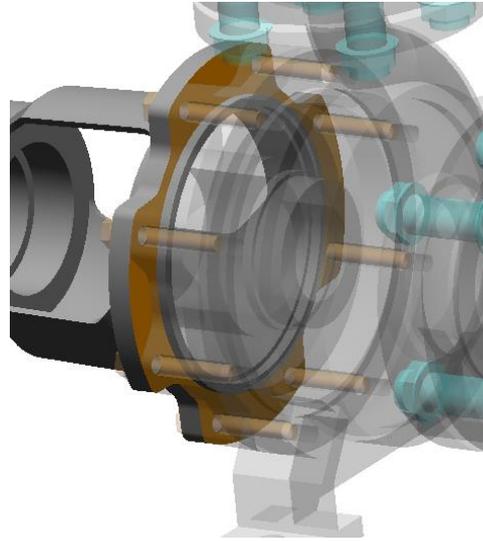


Реализованы специальные конечные элементы:

- жесткий элемент (типа RBE2)
- деформируемый элемент (типа RBE3)
- уравнение связи (типа MPC)



# ЗАДАНИЕ ГРАНИЧНЫХ УСЛОВИЙ



## КОНТАКТЫ

Жесткий

Скользящий (с трением и без)

Неразделяемый

Совместная сетка

Склейка

## НОВИНКИ

Технология контакта - «поверхность – поверхность»

Моделирование посадок с натягом

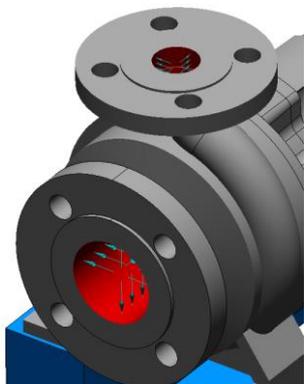
Опция «Слабые пружины»

Свойство контактной зоны «Термическое сопротивление»

# ЗАДАНИЕ ГРАНИЧНЫХ УСЛОВИЙ

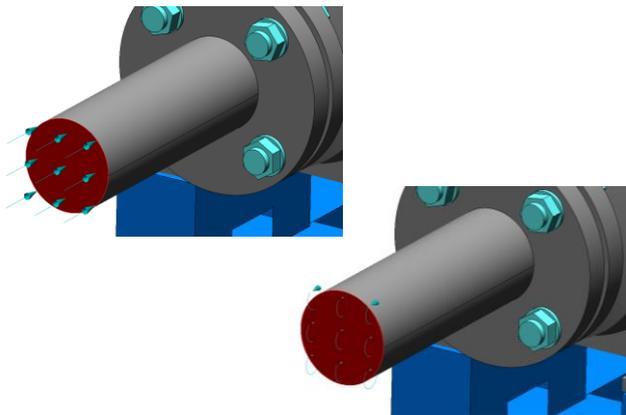
## НАГРУЗКИ

Давление  
(постоянное,  
переменное)



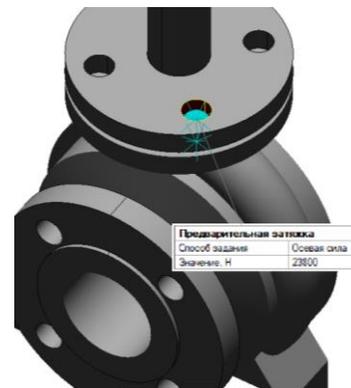
Удаленная  
сила  
Сосредоточенная  
масса

Силы/моменты  
(точечные,  
распределенные)



Линейное,  
угловое  
ускорение  
Кинематика

Преднатяг болтов,  
посадка с натягом



Сейсмические  
нагрузки  
(по СП и спектры  
ответа)

Случайная  
усталостная  
нагрузка

Температура  
(постоянная,  
переменная)



Спектральная плотность  
мощности  
кинематического  
ускорения

# ЗАДАНИЕ ГРАНИЧНЫХ УСЛОВИЙ

## НОВИНКИ

Параметризация  
в рамках задания ГУ  
и результатов расчёта

Интеграция APM Studio  
с платформой IOSO

Запустить
Реакции в опоре
Переименовать
Сохранить настройки для IOSO
Удалить

Параметры	
Свойства	
Свойство	Значение
P1	
Название	Распределенная сила 1 Y
Значение	P0_Ext
P0	
Название	SVM - Макс. значение
Значение	45.288102
P0_Ext	
Название	Сила
Значение	2000.000000
P1_Ext	
Название	Напряжения (Out)
Значение	P0

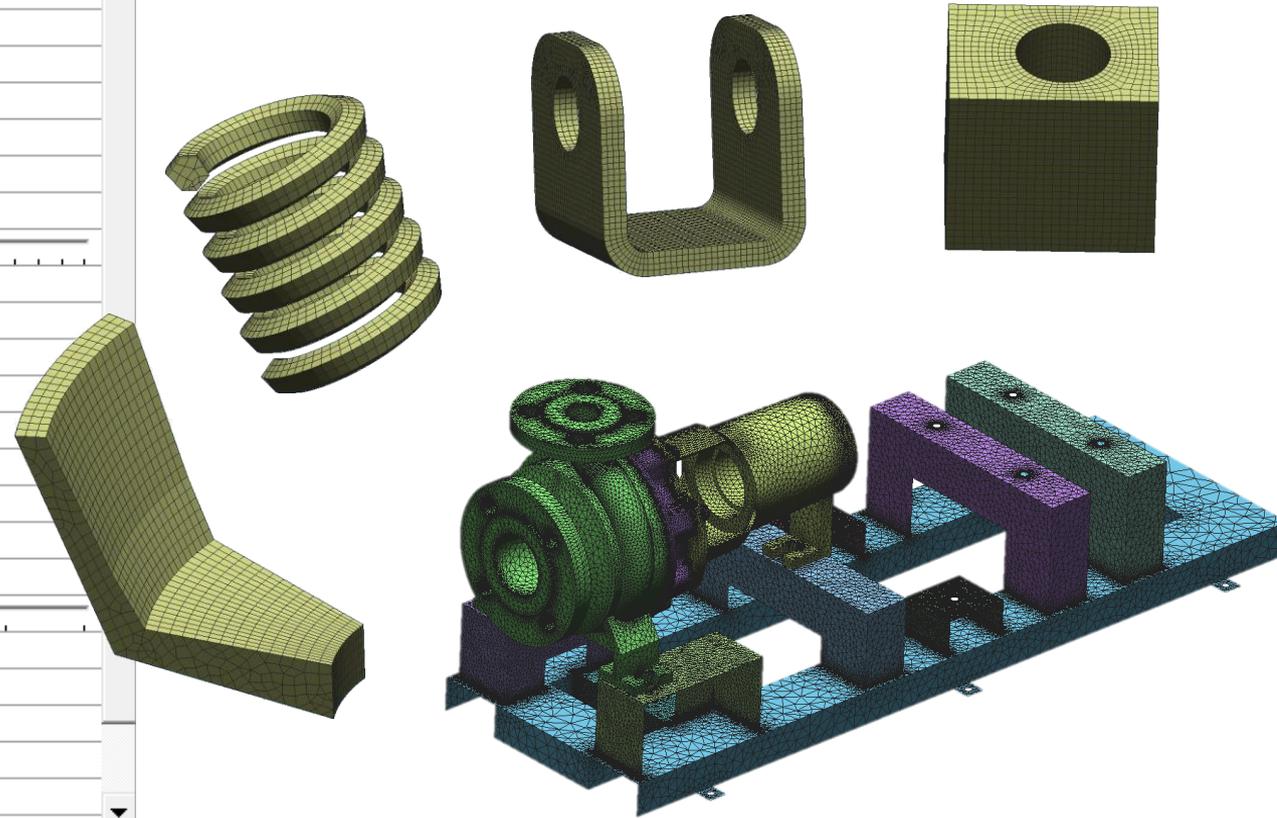
Дерево операций

- Конечно-элементный анализ
  - Плоскости
  - Материалы
  - Группы выделений
  - Геометрия
    - Вспомогательная геометрия
  - Контакты
  - Соединения
  - ЛСК
  - Конечно-элементная сетка
  - Расчеты
    - Статический расчет
    - Закрепления
      - Закрепление1
    - Нагрузки
      - Линейное ускорение1
      - Гидростатическое давление
    - Результаты
  - Нелинейный расчет
  - Динамический расчет
  - Тепловой расчет
  - Расчет течений
  - Параметры

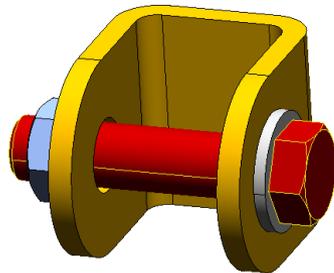
Свойство	Значение
<b>Тип элементов</b>	
Твердотельные	8-узловые
<b>Параметры</b>	
Значения	относительные
Минимальная длина ребра элемента [мм]	0.1570796327
Макс. коэф. разрежения на поверхности	1.5
Коэф. разрежения в объеме	1.5
Относительные шаги по размерам всей сборки	<input type="checkbox"/>
Относительный средний шаг поверхностной сетки в ...	0.04
Относительный минимальный шаг поверхностной се...	0.2
Относительный максимальный шаг [объемный] в дол...	3
<b>Стратегия разбиения</b>	
Тип сетки	Адаптивная
Угловой шаг [град]	18
Точность	<input type="range"/>
Игнорировать угловой шаг на малых гранях	<input checked="" type="checkbox"/>
Оптимизация	<input type="checkbox"/>
<b>Объединить</b>	
Объединять геометрически близкие элементы моде...	<input type="checkbox"/>
Размер допуска на слияние [мм]	0.05
<b>Расширенные</b>	
<b>Полнота обработки сегментов границ</b>	
Четность числа отрезков на границе	<input type="checkbox"/>
Пропорциональность числа отрезков длинам дуг	<input checked="" type="checkbox"/>
Отклонение [%] от точной пропорциональности	6 <input type="range"/>
Распознавание вращательных структур	<input checked="" type="checkbox"/>
Распознавание полигональных структур	<input type="checkbox"/>
Тайм-аут [сек] при обработке границ	100
Нижний предел дробления границ	2
Верхний предел дробления границ	6

# КЭ-СЕТКА

8-МИ УЗЛОВАЯ СЕТКА – ПРОТЯЖКА  
В ВАРИАНТЕ «ONE-TO-ONE SWEEPING»

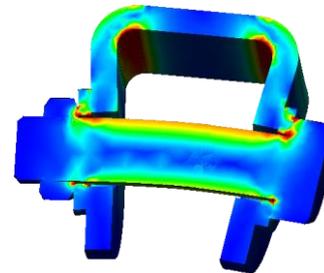


# ПРОВЕДЕНИЕ РАСЧЁТОВ



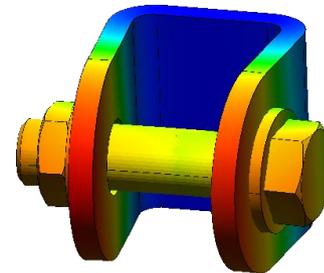
## Статический анализ

Расчёт НДС  
(линейная и нелинейная постановка)  
Расчёт устойчивости  
Стационарная теплопроводность



## Динамический анализ

Расчёт собственных частот  
Нелинейный динамический анализ  
Гармонический анализ  
Нестационарная теплопроводность



## Специализированные расчёты

Усталостный расчёт (выносливость)  
Сейсмостойкость конструкций  
Расчет воздействия ШСВ  
Топологическая оптимизация  
Расчет FSI (fluid-structure interaction)  
Расчёты по отраслевым нормам

# ГАРМОНИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

## НОВЫЙ АЛГОРИТМ РЕШЕНИЯ - «СУПЕРПОЗИЦИЯ МОД»

Для гармонического анализа

Расчёт проходит быстрее  
по сравнению с алгоритмом "FULL"

APDM Studio v14.1E - Конечный элементный анализ сборки - Часть (1) (1) (4021)\*

Панель инструментов: Геометрия, Анализ, Инструменты, Материал, Соединение, Источники, Карта результатов, Частоты, Линейка, Выбор, Выбор, На грань, Толщина, Контакт, Борт, Выпуклость, Связь компонента, Создать модель, Создать, Системный менеджер, Не Пустота, Выпуклость, Связь компонента, Свойства, Контакты, Закрепления, Расчет, Параметры вывода, Результаты, Анализ, Итерация, Конечный элементный анализ, Свойства, Контакты, Закрепления, Расчет, Параметры вывода, Результаты, Создать модель, Итерация, Конечный элементный анализ, Свойства, Контакты, Закрепления, Расчет, Параметры вывода, Результаты.

Дерево операций: Часть (1) (1) (4021)\*, Карта результатов (GA: E1) = 308.43 Гц, 51901/мм<sup>2</sup>, Карта результатов (GA: E1) = 268.97 Гц, UZ\_Abs, Карта результатов (GA: E1) = 200.00 Гц, UZ\_Abs, Материалы, Группы выделений, Геометрия, Восполнительная геометрия, Контакты, Соединения, LSC, Анализно-элементная сетка, Анализ, Статический анализ, Модальный анализ, Динамический анализ, Тепловой анализ, Анализ точечный, Гармонический анализ, Нагрузки, Результаты, SVA, UZ\_Abs, SVA, Статический анализ 2, Модальный расчет.

Свойства: Область действия, Типа, Координата X, мм, Координата Y, мм, Координата Z, мм, Пост-обработка, Типа, Выбор.

Определение: Частота, Гц, 268.967205, Максимум, мм, 0.000644234705, Мин. значение, 0.000544234705, Динамика, мм, 0.002306849204, Мин. значение, 0.00116996539, Группы выделений, мм, Мин. значение, 0.00118936539, Макс. значение, 0.002306849204.

Журнал: 10600.4, 13224, 14539.6, 15241.9, 16391.4, 17267.1, <16:07:11.694> Время расчёта этапа 0 зашло 00:00:00, Время расчёта этапа 1 зашло 00:00:01.094, Время расчёта этапа 2 зашло 00:00:20.370, Время расчёта загрузки зашло 00:00:52.416, <16:07:11.694> Оставившиеся файлы индивидуальны, <16:07:11.694> Метод гармонического расчёта - Аппр, <16:07:13.586> Гармонический анализ: успешно завершен.

APDM Studio v14.1E - Конечный элементный анализ сборки - Часть (1) (1) (4021)\*

Модальный анализ: Частота, Гц, 1776.71, 272.223, 0.00360302, 0.000293, 0.000293, 0.267, 0.267, 62.9, 62.9, 2.32543, 518.117, 0.0015007, 61.9, 61.9, 1.05e-06, 0.0022, 62.9, 8.9713, 1386.78, 0.00072198, 1.2, 85, 7.97e-07, 0.267, 2.49e-06, 62.9, 4.12987, 296.07, 0.00040634, 6.25e-16, 65, 7.9, 0.17, 10.4, 73.2, 2.4148, 3842.93, 0.00026218, 11.4, 76.5, 0.000984, 8.17, 2.77e-07, 73.2, 6.29059, 4418.18, 0.00025091, 5.36e-15, 76.5, 0.05, 57.7, 21.9, 78.4, 3.5476, 3646.18, 0.00077111, 3.27e-07, 76.5, 19.9, 73.6, 2.86, 77.9, 0.43167, 6072.42, 0.00049909, 0.0489, 76.5, 2.04e-06, 73.6, 2.54e-05, 77.9, 5.6424, 4861.6, 0.00071562, 2.75, 79.3, 0.000179, 73.6, 2.31e-05, 77.9, 0.68123, 1823.8, 0.00049909, 0.0489, 76.5, 2.11e-05, 73.6, 6.59e-06, 80.5, 11.68924, 13803.4, 9.4238e-09, 0.000216, 80.1, 0.021, 73.6, 2.83, 80.5, 0.88819, 1324, 1.9251e-09, 0.01, 80.7, 6.26e-05, 73.6, 0.000097, 77.9, 91.925, 14023.6, 4.8777e-09, 0.198, 81, 0.000408, 73.6, 0.000104, 80.5, 95.919, 15242, 6.9006e-09, 0.198, 81.9, 0.0101, 73.6, 1.29e-05, 80.5, 110282, 16297, 6.1803e-09, 0.0089, 81.9, 5.67, 79.3, 0.000205, 80.5, 109491, 17266.9, 5.7914e-09, 0.0145, 81.9, 0.199, 79.5, 0.0741, 80.6.

Журнал: <16:07:11.694> Оставившиеся файлы индивидуальны, <16:07:11.694> Метод гармонического расчёта - Аппр, <16:07:13.586> Гармонический анализ: успешно завершен.

# ТОПОЛОГИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ

## МОДЕРНИЗАЦИЯ И РАЗВИТИЕ

Отклик «Собственная частота с преднагружением»

Развиты возможности откликов «Собственная частота» и «Устойчивость»:

учёт повторяющихся собственных значений

отслеживание собственной формы

выбор индекса собственной формы

Для технологического ограничения «3d-печать»:

улучшен алгоритм для эффективного результата

исключен подбор «весовой коэффициент»

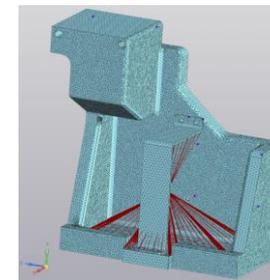
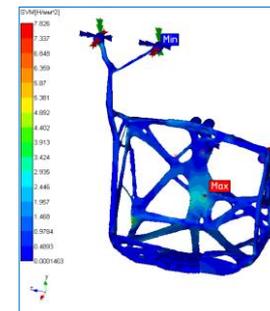
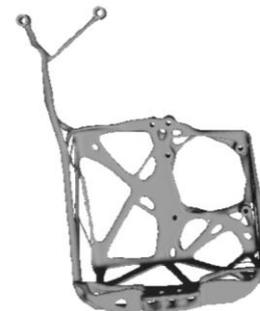
добавлено регулирование угла нависания

Оптимизирован отклик «напряжения» по памяти и производительности

Усовершенствована логика взаимодействия технологических ограничений с NDS и пустотами

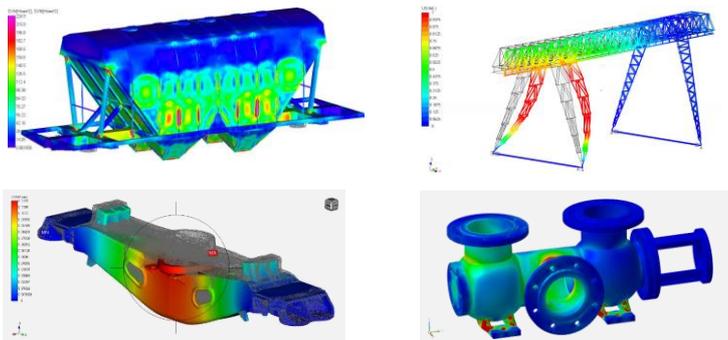
Учёт решения задачи стационарной теплопроводности

Усовершенствованы алгоритмы работы для технологических ограничений типа «штамповка» и «фрезеровка»

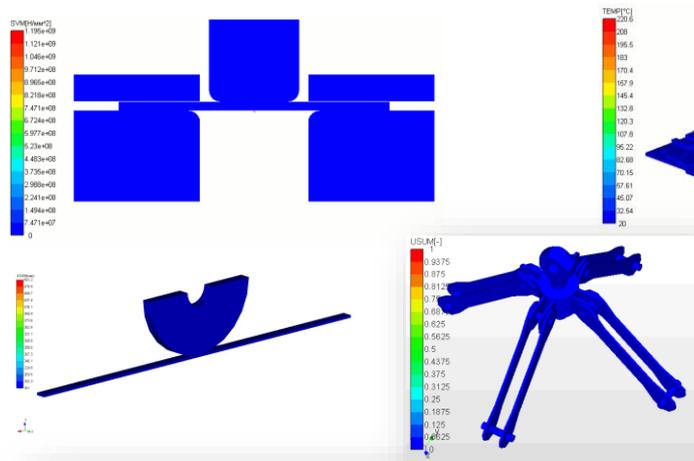


# ВЫВОД И АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ

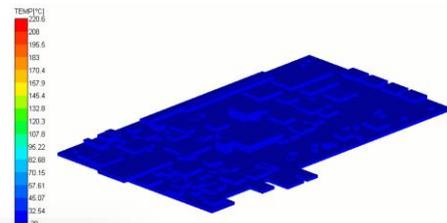
## Линейные решения



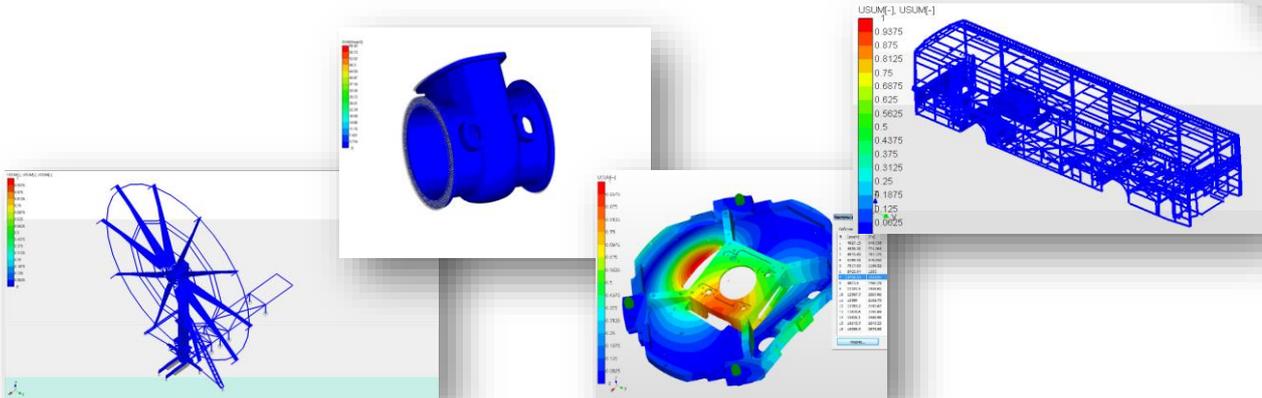
## Нелинейные решения



## Тепловой анализ



## Динамический анализ



Возможности карт результатов:

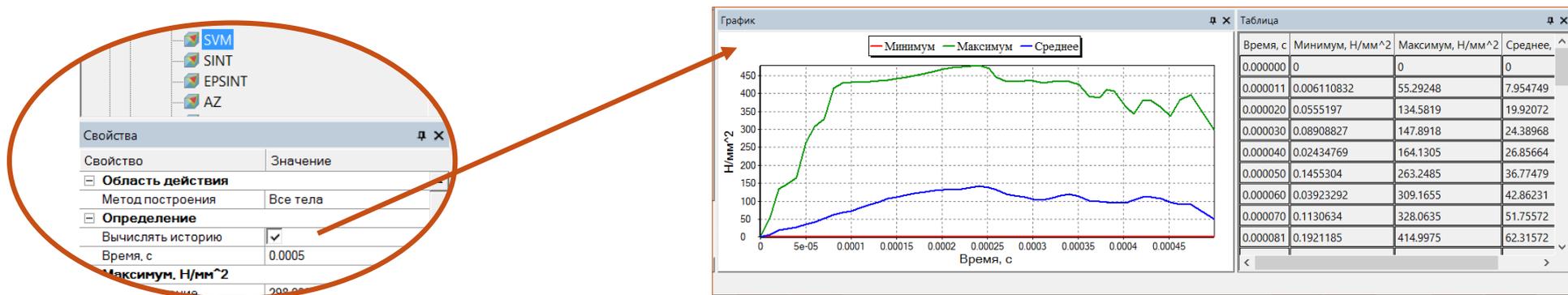
- Отобразить/скрыть элементы
- Результаты в разрезе/сечении
- Результаты на деформированной/ недеформированной конструкции
- Усреднение значений по узлам

# ВЫВОД и АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ

## РАЗВИТИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ

Расширены возможности вывода результатов для нелинейного статического, динамического и гармонического расчётов:

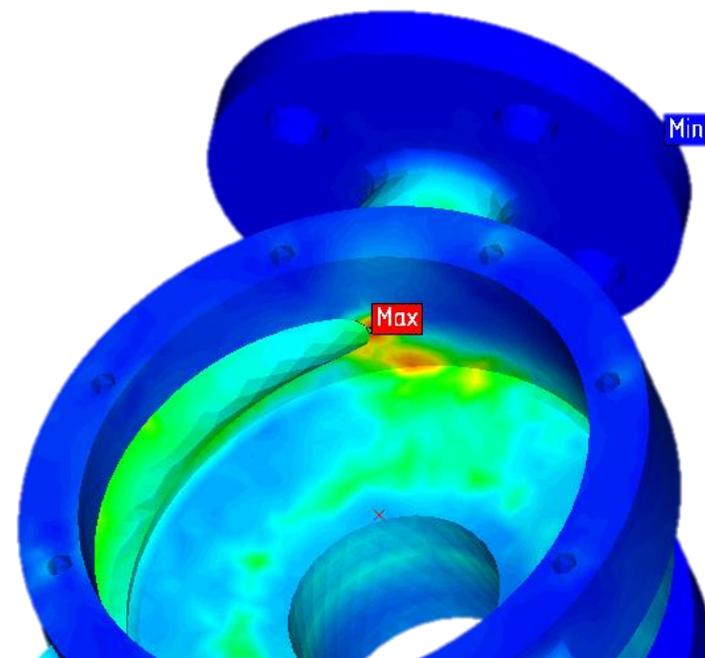
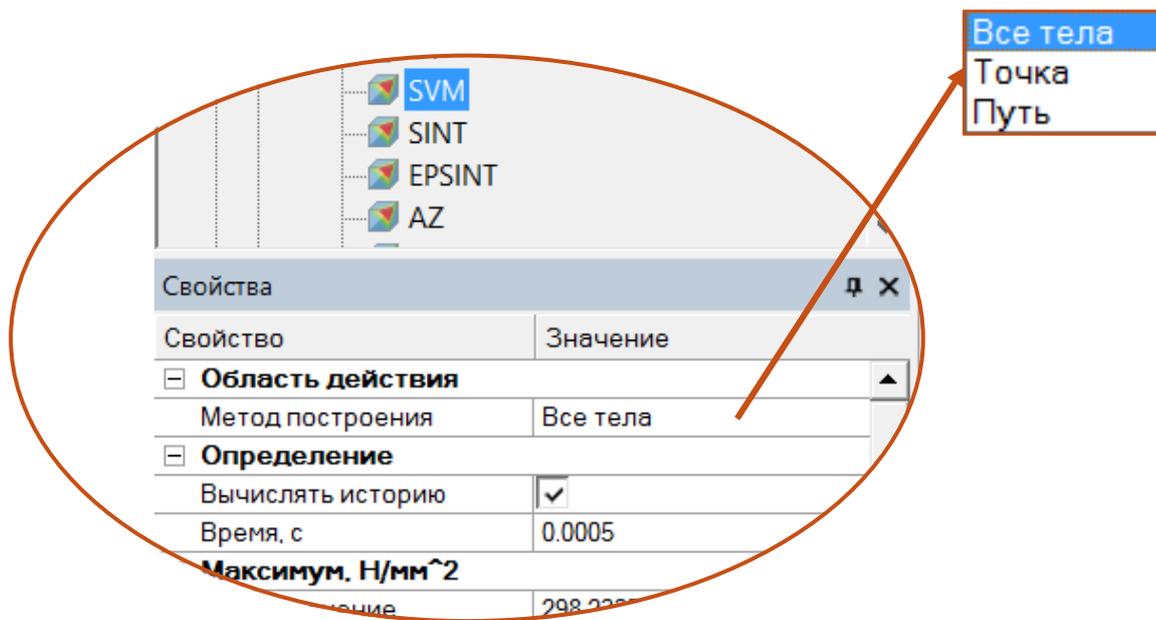
- карты результатов скоростей и ускорений для динамического расчёта и эквивалентные пластические деформации
- вывод зависимости напряжений, перемещений, углов поворота, деформаций, скоростей и ускорений в точках (узлах) модели от времени/частоты в табличном и графическом виде
- вывод зависимости значений напряжений, перемещений, углов поворота, деформаций, скоростей и ускорений от времени/частоты в табличном и графическом виде



# ВЫВОД и АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ

## РАЗВИТИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ

Создание «Траектории» (пути) и «Сечения» в модели для вывода результатов расчёта с различными типами осреднения по элементам



# ВЫВОД и АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ

## РАЗВИТИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ

Диалоговое окно «Выноски»: для каждой карты результатов добавляется информация о координатах выносок, номерах узлов и значениях параметров

Свойства

Свойство	Значение
<b>Область действия</b>	
Метод построения	Все тела
<b>Определение</b>	
Вычислять историю	<input type="checkbox"/>
Время, с	1
<b>Максимум, мм</b>	
Макс. значение	0.02897379028
Координата X, мм	-50
Координата Y, мм	-1.554312234e-13
Координата Z, мм	25
<b>Минимум, мм</b>	
Мин. значение	0

Выноски

N	Тип	Значение	Единицы	Координата X	Координата Y	Координата Z	Номер узла	Координата X0	Координата Y0	Координата Z0
1	USUM	0.022422	мм	79.3609	34.233	22.5848	396	68.8662	29.706	25
2	USUM	0.026374	мм	44.8731	48.5974	22.9771	4946	35.6568	38.6084	25
3	USUM	0.008221	мм	-25.127	-43.8276	70.4255	12430	-25	-43.3013	66.1765
4	USUM	0.021314	мм	-43.0498	-74.5645	-17.0057	3896	-37.5	-64.9519	-16.6667

Сохранить в CSV ...  
Точность сохранения в CSV...  
Копирование таблицы в буфер

Удалить все    Удалить последнюю    Закрыть

 **АПМ** развивается и решает ваши задачи!

**ПОЗНАКОМИМСЯ ПОБЛИЖЕ  
в рамках живой демонстрации!**

