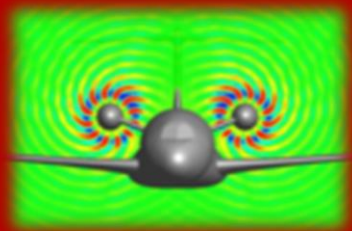


Новые возможности акустического анализа с использованием программного пакета Actran



Александр Жарков

Технический эксперт MSC Software

Оглавление

- Вибро-акустика
- Аэро-акустика
- Производительность
- Интерфейс Actran VI



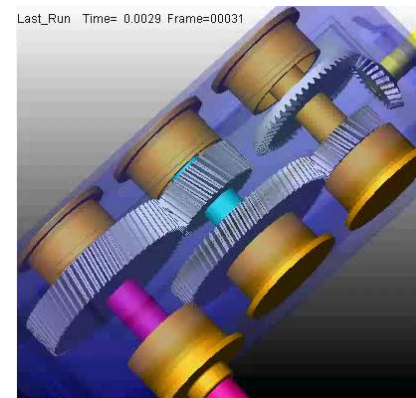


Вибро-акустика

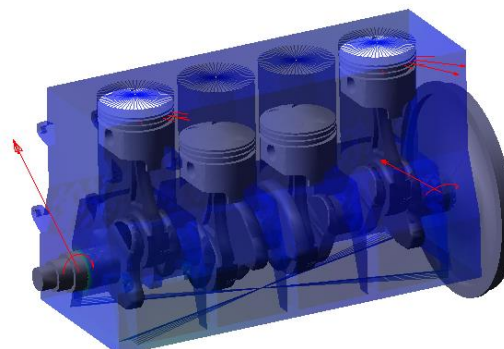
Обновленный модуль анализа акустики во временной области

Actran 15

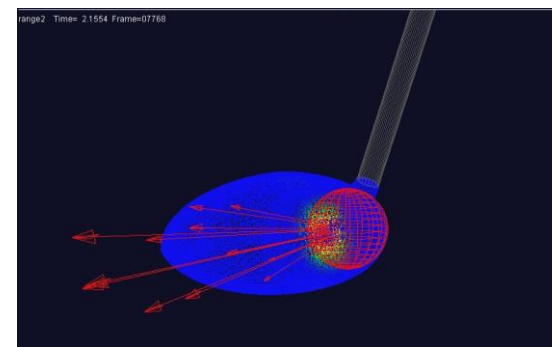
- Существенно расширены возможности анализа акустики во временной области
- Существовавший ранее модуль внедрен в современную среду решателя Actran_PY
- Модуль служит для анализа переходных процессов виброакустики
 - звук ударного взаимодействия деталей
 - разгон/торможение механизмов
 - другие непериодические процессы
- Модуль является основой для интеграции Actran с другими системами анализа динамики: MSC Nastran SOL700, Adams



Gear transmission (Adams model),
video courtesy of iSID

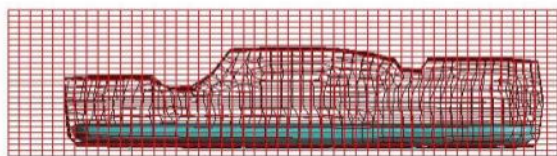


Piston Slap (Adams mode), video courtesy of iSID

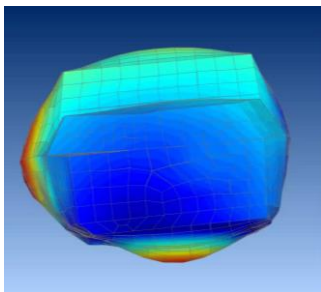


Golf club impact (Adams model), video courtesy of iSID

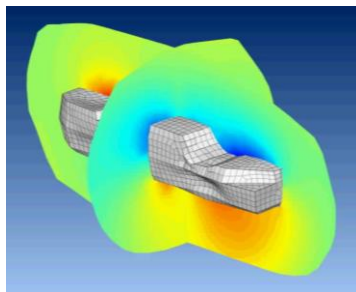
- Actran позволяет считать результаты расчета в MSC Nastran SOL700 и использовать их как исходные данные для расчета акустики
- Возможен анализ шума плескания жидкости, шума течения жидкости в трубе
- Результаты считываются напрямую из файлов формата BINOUT



Partially filled fuel tank

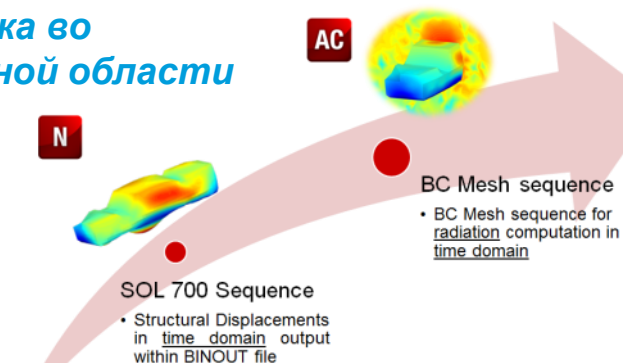


Деформации
топливного бака

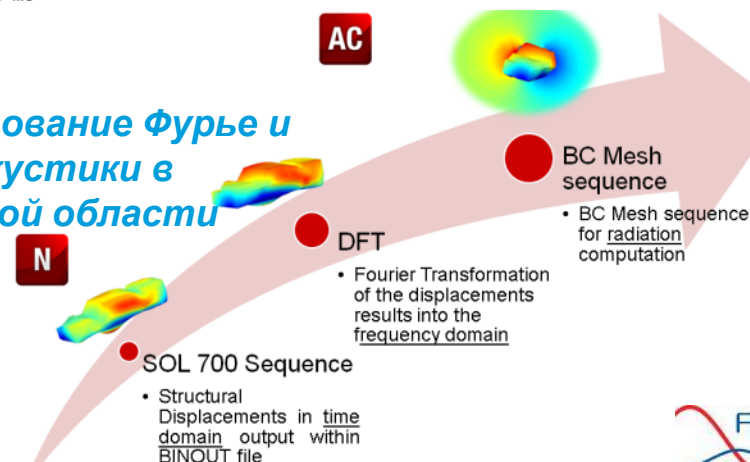


Излучение шума,
рассчитанное в Actran

Акустика во
временной области



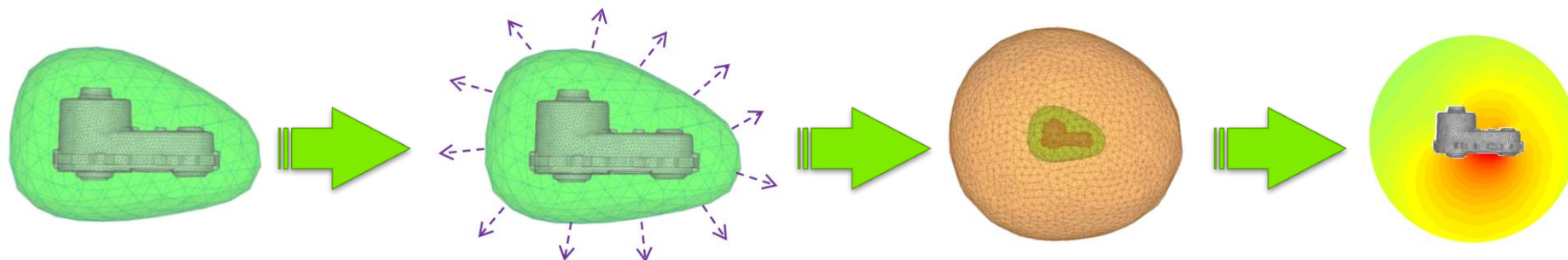
Преобразование Фурье и
анализ акустики в
частотной области



Полностью согласованный поглощающий слой - PML



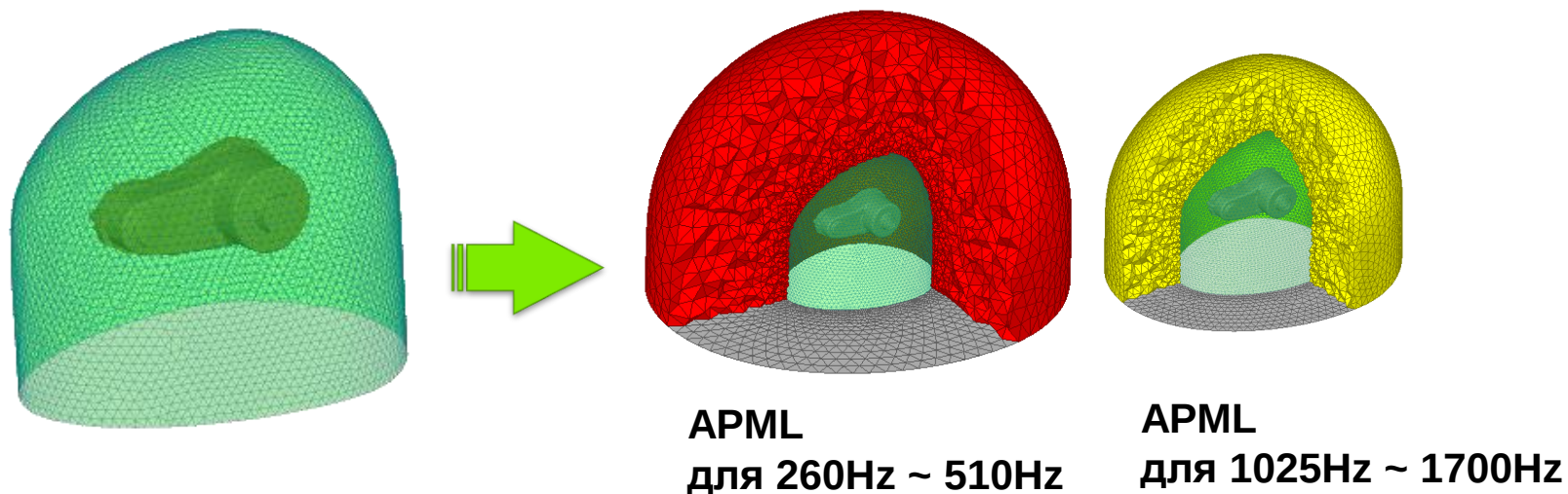
- Метод обеспечения условий неотражения звука от границ расчетной области (ближнего поля)
- Реализован путем дополнения расчетной модели наружным слоем конечных элементов с высоким затуханием
- Параметры слоя могут быть подобраны исходя из диапазона частот расчета
- Применение PML обеспечивает симметрию матриц
 - высокая вычислительная эффективность



Полностью согласованный поглощающий слой - PML

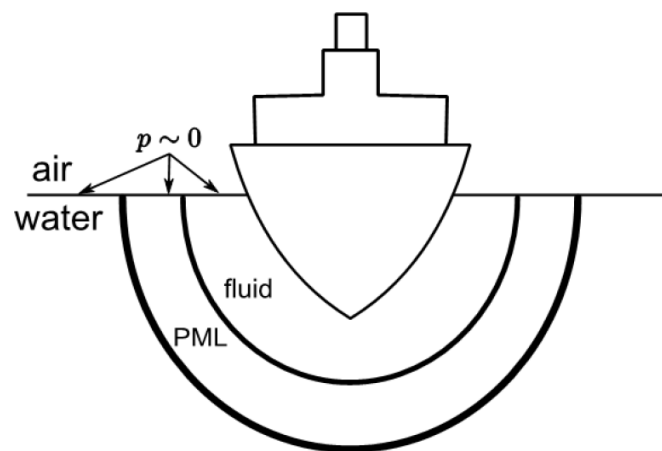
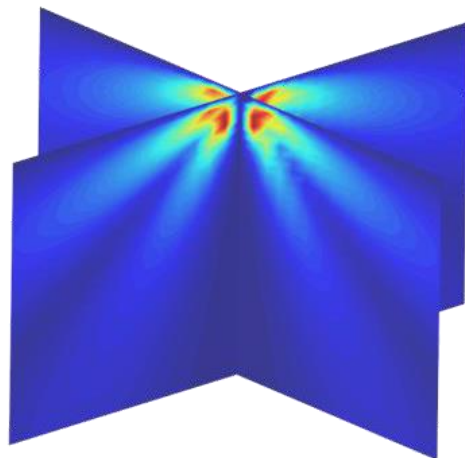


- **Возможно автоматическое и ручное создание слоя**
 - в автоматическом режиме пользователь указывает наружную поверхность и Actran строит слой автоматически в процессе расчета
 - в ручном режиме слой строит пользователь самостоятельно
- **Совместно с методом PML возможно использование поля средней скорости акустической среды (среднего течения)**



Расширение возможностей моделирования шума в дальнем поле с применением аналогии FW-N

- Аналогия Фокса Вильямса и Хокинса (Ffowcs Williams and Hawkings) применяется в связке с PML, APML и модулем DGM
- Назначение – моделирование шума в дальнем поле
- Новые возможности применения этой аналогии включают:
 - вычисление излучаемой мощности
 - решение задач со свойствами симметрии
 - использование сеток для определения акустических параметров в дальнем поле

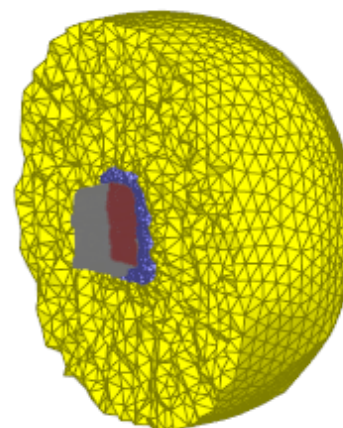
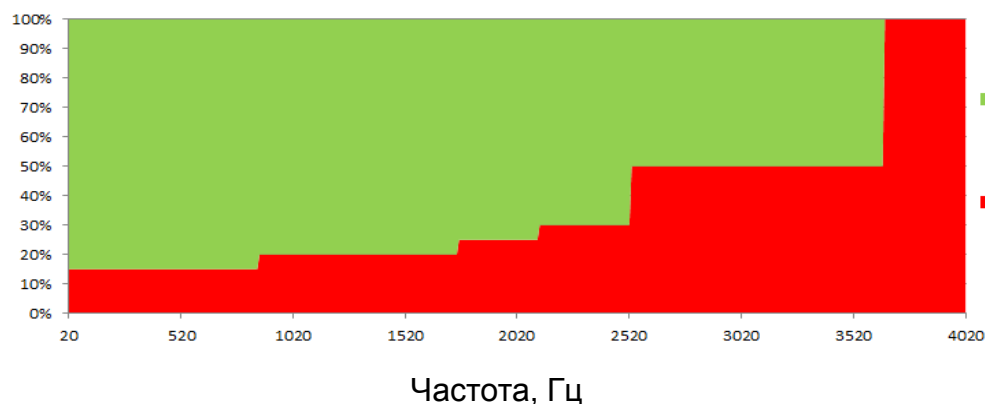


Автоматическая генерация сетки для анализа внешней акустики

Actran 15

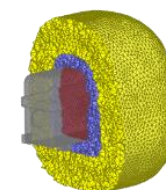
- Actran автоматически производит генерацию сетки для моделирования акустической среды ближнего и дальнего поля
- Поддерживается как применение бесконечных элементов (Infinite Elements), так и полностью согласованного поглощающего слоя (Perfectly Matched Layer – PML)
- Размер конечных элементов автоматически подбирается в соответствии с частотой расчета
 - чем ниже частота, тем более крупные элементы можно использовать и тем ниже размерность задачи
 - чем выше частота тем тоньше может быть поглощающий слой (PML)

Сокращение времени счета для автоматически генерируемой сетки по сравнению с единой сеткой



708Hz ~ 850Hz

...



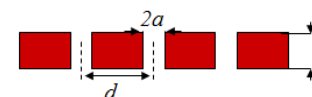
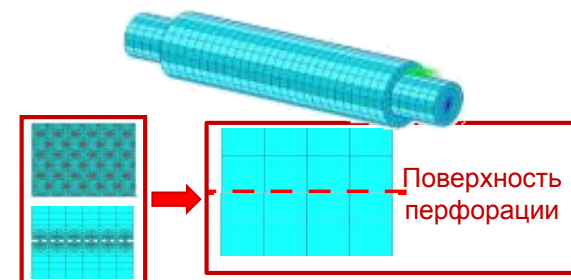
...

2539Hz ~ 3047Hz

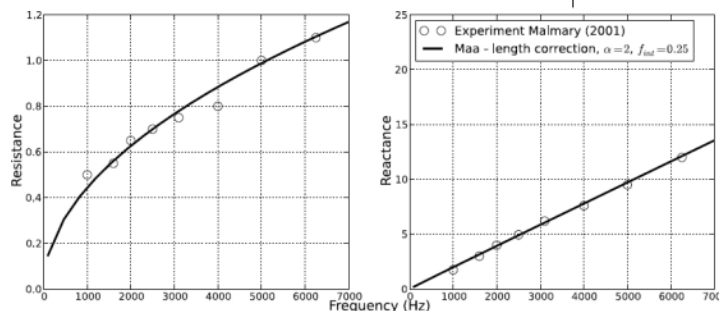
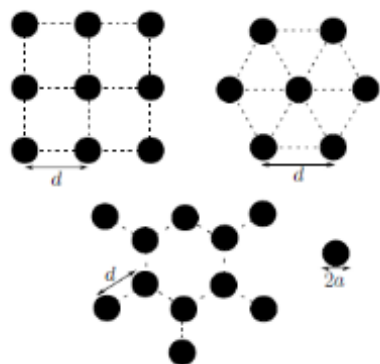
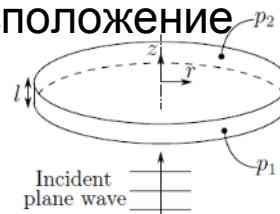
Моделирование перфорированных пластин путем задания эквивалентных свойств материала

Actran 15

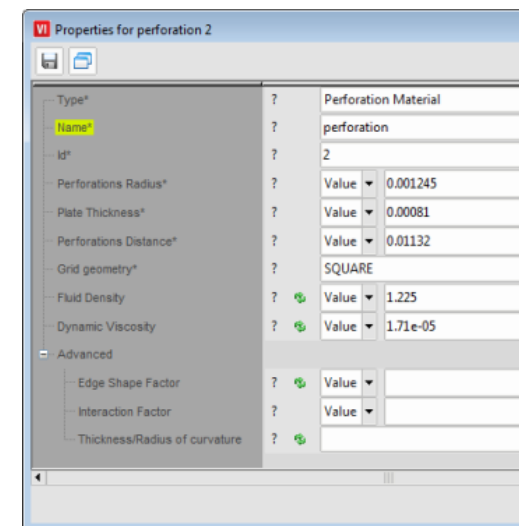
- Перфорированные пластины широко применяются в технике
- Прямое моделирование затруднительно
- Предлагается вводить в расчетную модель слой акустической среды с эквивалентными импедансными характеристиками
- Импедансные характеристики вычисляются по эмпирическим зависимостям – формулировка Маа
- Пользователь задает геометрические параметры перфорированной пластины: размер и расположение отверстий, толщину пластины, и др.



Круглое отверстие перфорации:



Действительная и мнимая часть импеданса круглого отверстия: модель Маа и эксперимент



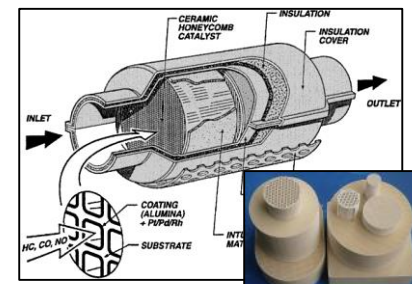
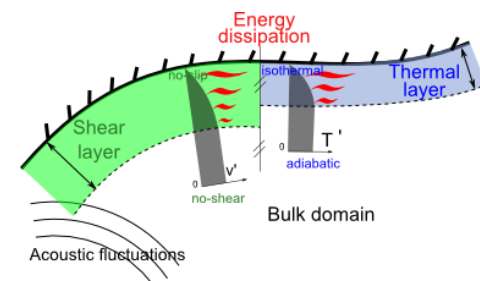
$$\begin{bmatrix} v_{n1} \\ v_{n2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_p & -A_p \\ -\kappa * A_p & \kappa * A_p \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p_1 \\ p_2 \end{bmatrix}$$

Характеристическая матрица акустической проницаемости

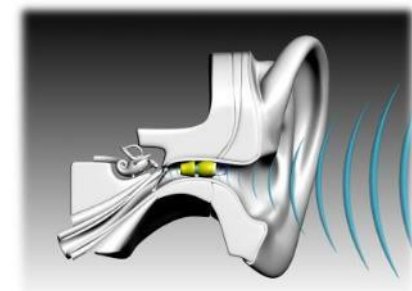
Учет вязко-термических потерь в полостях произвольной формы

Actran 15

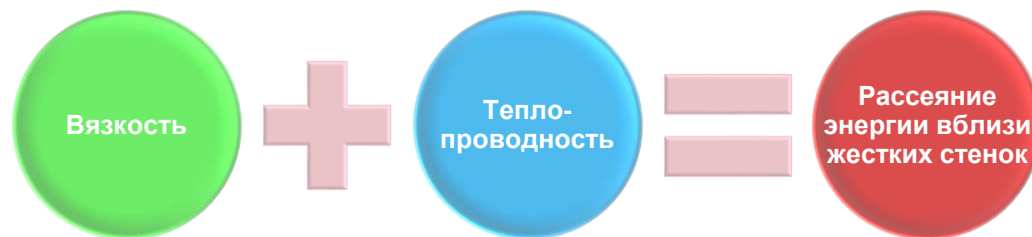
- Поддержка конечных элементов акустической среды с учетом вязко-термических потерь для полостей произвольной формы
- Реализована на основе модели Distance-Based Linearized Navier-Stokes-Fourier model (DBLNSF)
- Позволяет проводить уточненный анализ затухания звука в конструкциях сложной формы: нейтрализаторах, системах промежуточного охлаждения, слуховых аппаратах и др.
- Возможно сочетание с другими компонентами модели: звукопоглощающими материалами, канальными модами, и др.



Каталитические нейтрализаторы



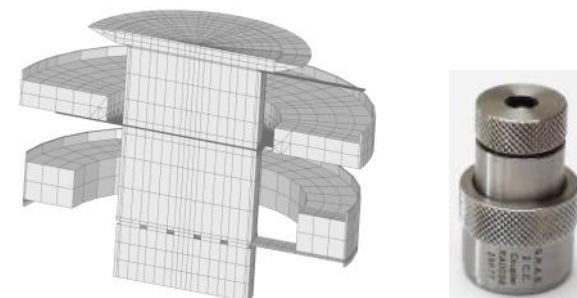
Слуховые аппараты



Учет вязко-термических потерь в полостях произвольной формы

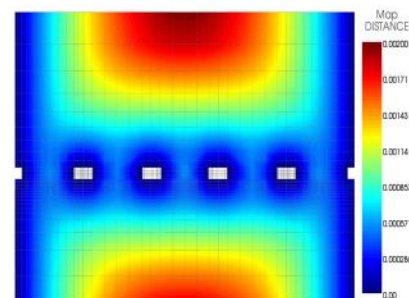
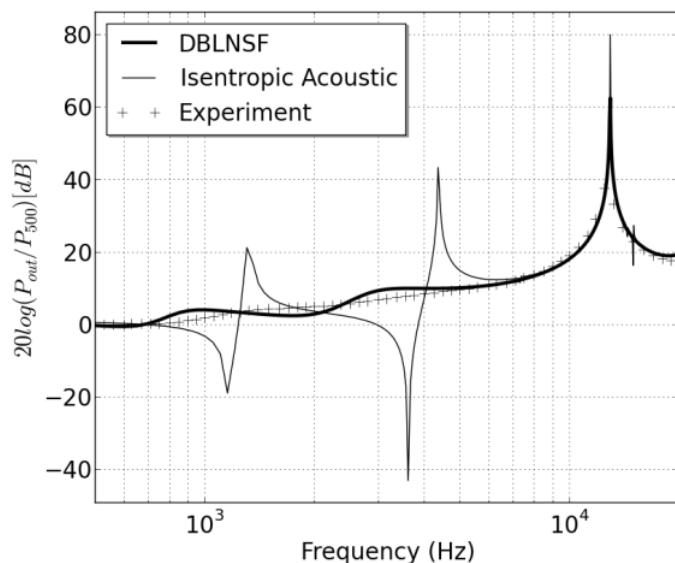
Actran 15

- Введена возможность визуализации расстояния от ближайшей стенки
- Легко видеть зоны с выраженными потерями
 - Устройство для моделирования человеческого уха IEC-711



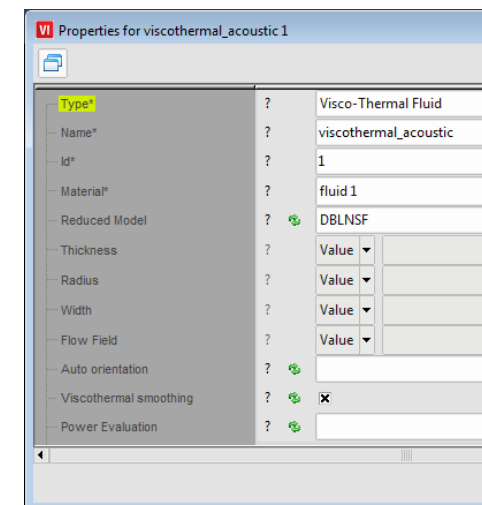
Акустическая сетка

Передачный импеданс устройства IEC-711



Поле расстояний от стенки

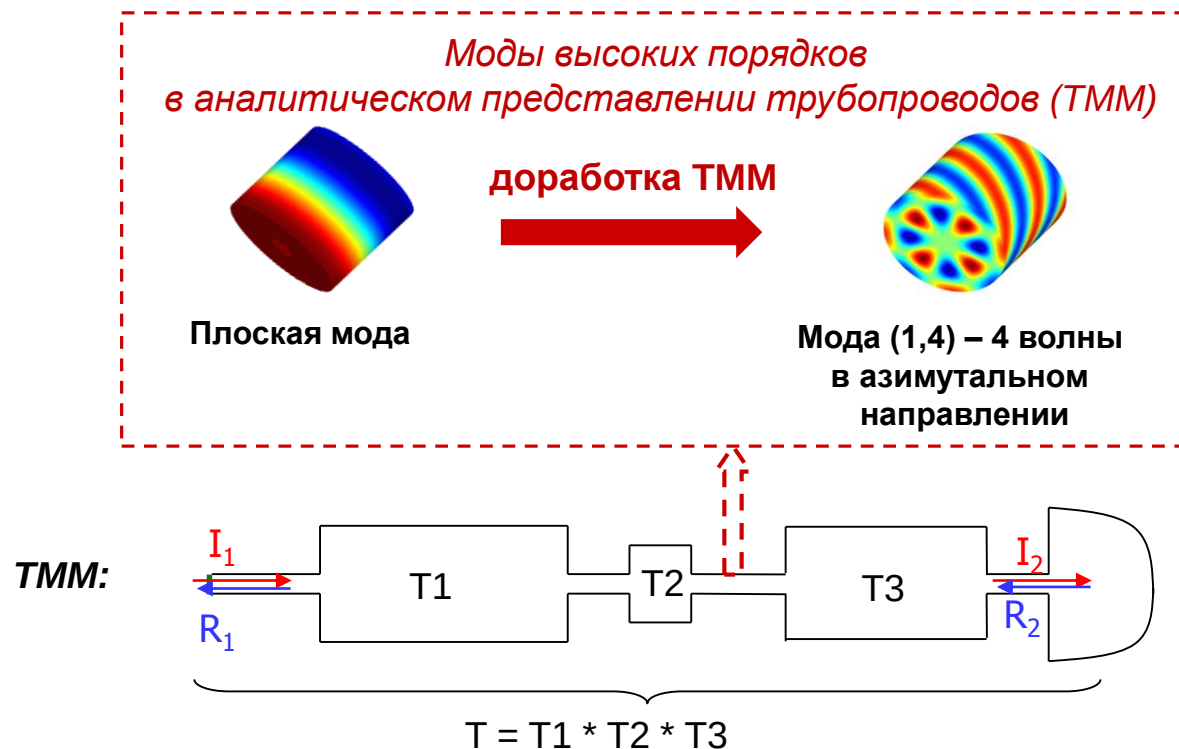
```
BEGIN COMPONENT 1
VISCOTHERMAL
DOMAIN fluid
MATERIAL 1
REDUCED_MODEL DBLNSF
[VTH_SMOOTHING]
END COMPONENT 1
```



Применение метода передаточных матриц (ТММ) с канальными модами высоких порядков

Actran 15

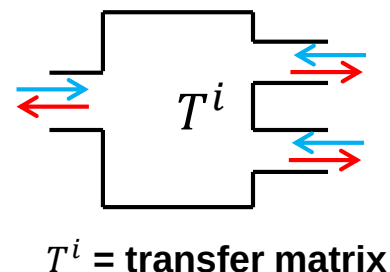
- Появилась возможность использования канальных мод высоких порядков в качестве внешнего воздействия
- Моделирование распространения акустических волн в трубопроводах и связанных с ними устройствах (глушители, катализаторы и т.п.)
- Уточнение результата по сравнению с применявшимися ранее плоскими модами



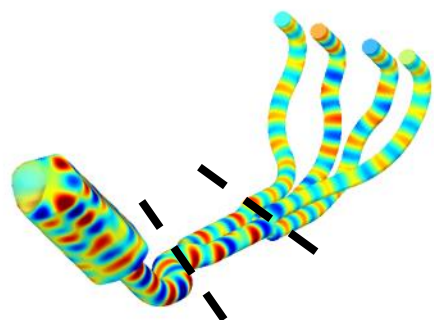
Применение метода передаточных матриц (ТММ) с канальными модами высоких порядков

Actran 15

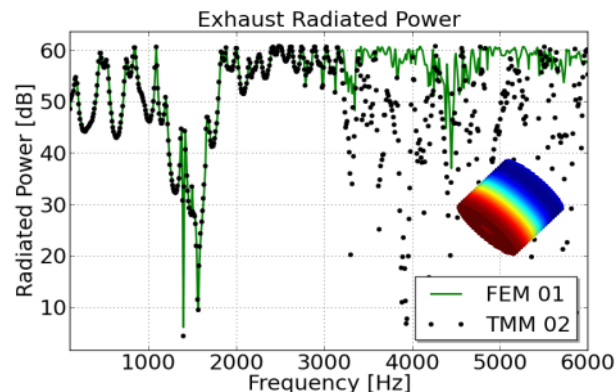
- Новый метод, в частности, позволяет:
 - Решать задачи с разветвлением каналов
 - Шум в трубах и излучение трубами шума в пространство
 - Градиенты температур и плотностей



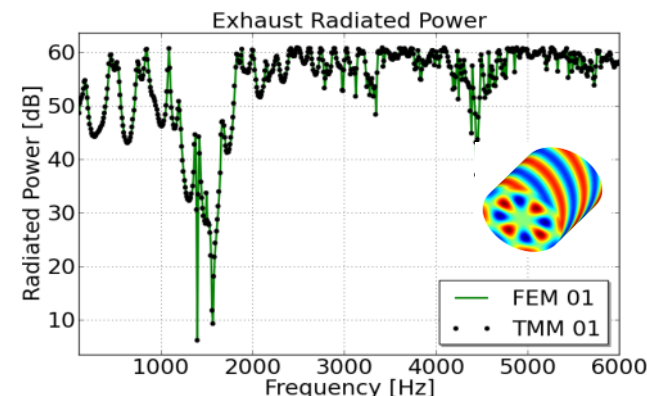
$$\begin{bmatrix} A_m^{ik_1-} \\ A_m^{ik_2-} \\ \vdots \\ A_m^{ik_n-} \end{bmatrix} = T^i \begin{bmatrix} A_m^{ik_1+} \\ A_m^{ik_2+} \\ \vdots \\ A_m^{ik_n+} \end{bmatrix}$$



Выхлопная труба мотоцикла



Сравнение расчетов МКЭ и ТММ с плоской модой



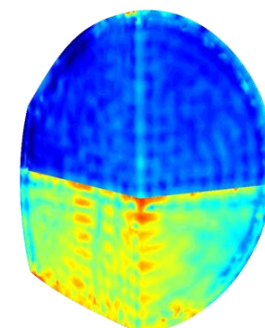
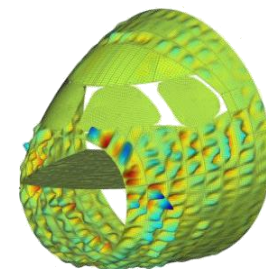
Сравнение расчетов МКЭ и ТММ с модами высоких порядков

Ref: D. Copiello, G. Liens, Z. Zhou, *Acoustic Simulations of Vehicle Exhaust System using High Order Transfer Matrix Method Coupled with Finite Element Method*, SAE 2014-32-0119, SAE/JSAE 2014 Small Engine Technology Conference & Exhibition

Случайные флуктуации давления в турбулентном пограничном слое (TBL)



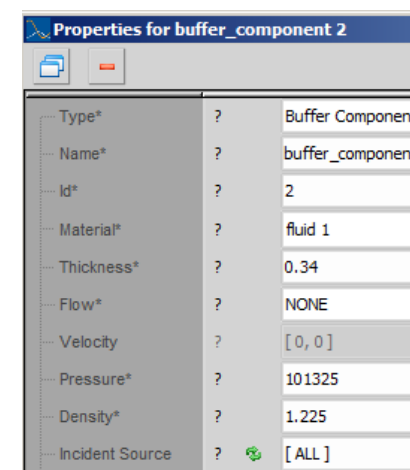
- Представление акустического воздействия от турбулентного пограничного слоя в виде случайных флуктуаций давления
- Указанный метод основан на эмпирических зависимостях, полученных на основе измерений шума натуральных изделий
- В дополнение к модели Corcos G.M., использовавшейся ранее, введен целый ряд моделей различных исследователей:
 - 1) Maestrello L.; 2) Cockburn J.A. and Robertson J.E.; 3) Ефимцов Б.М.; 4) Chase D.M.; 5) Смольяков А.В.; 6) Смольяков А.В. – Ткаченко В.М.; 7) Goody M.C.
- В моделях на основе работ Corcos G.M., и Ефимцова Б.М. реализовано дополнительное вычисление взаимных спектральных плотностей воздействия, учитывающих пространственную корреляцию
- Вычислительные сложности, связанные с формированием плотно заполненных матриц спектральных плотностей, эффективно обходятся применением в Actran разложения воздействия на набор плоских волн



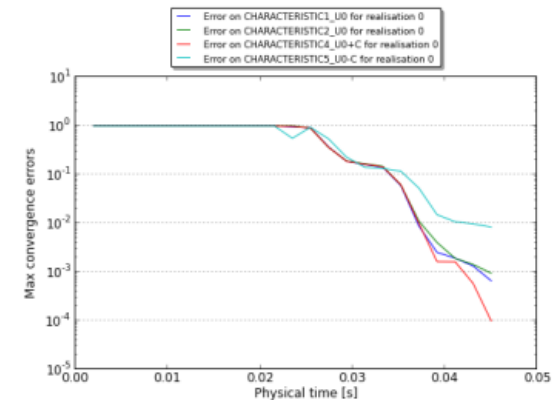
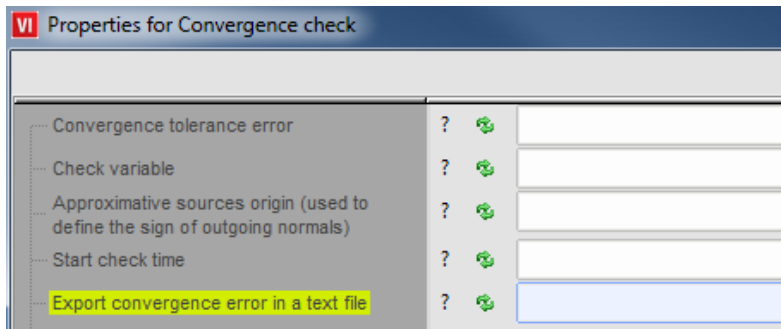


Аэро-акустика

- Появилась возможность располагать источники шума в дальнем поле, т.е. вне конечно-элементной сетки ближнего акустического поля
- Источники автоматически включаются в компонент буфера (слой КЭ вокруг ближнего поля)
- Могут быть учтены в расчете:
 - несколько источников шума (сферических, цилиндрических, плоских)
 - наличие средней скорости среды
 - рассогласование фаз источников



- Пользователь может отслеживать состояние индикаторов сходимости к установившимся гармоническим колебаниям
- Пользователь имеет возможность указать поверхность, по которой будет производиться проверка сходимости
- Контроль сходимости производится также для случая возбуждения плоскими волнами



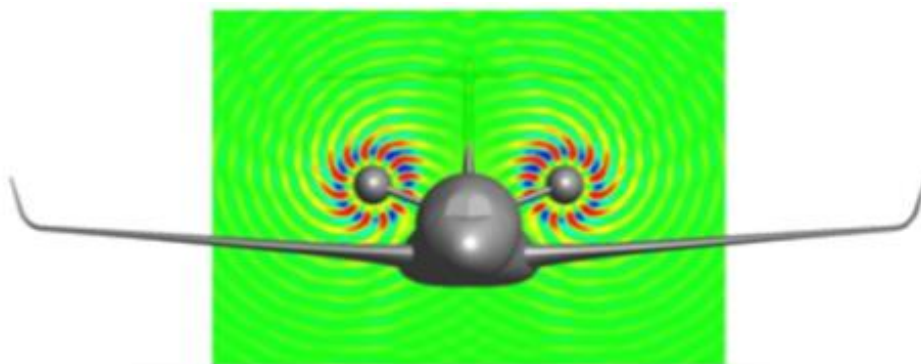
Контроль сходимости

```
BEGIN CONVERGENCE_CHECK  
  DOMAIN convergence_surface  
  TOL 0.0001  
  MONITORING_CONVERGENCE_FILE EXPORT_MAX_ERROR  
END CONVERGENCE_CHECK
```

Модуль DGM: Переходный процесс в качестве внешней нагрузки

Actran 15

- Ввод нестационарных воздействий в явной форме – как зависимости от времени
- Высокочастотное возбуждение
- Моделирование неперiodических процессов



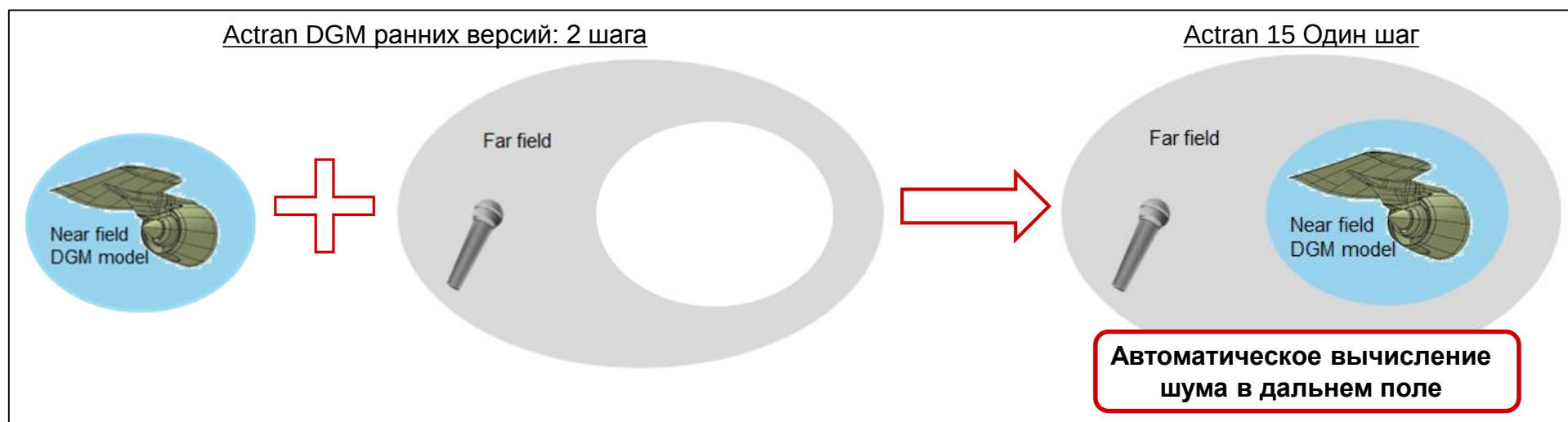
*Моделирование шума пропеллеров
Граничные условия Томпсона
(скорость/давление/плотность + неотражение)*

```
BEGIN SOURCE 1  
  PLANE  
  AMPLITUDE TIME_TABLE  
  AMPLITUDE_TYPE P  
  FREQUENCY 1000  
  ORIGIN [x] [y] [z]  
END SOURCE 1
```

Модуль DGM: Автоматический расчет в дальнем поле

Actran 15

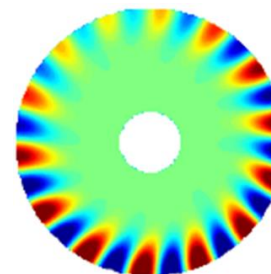
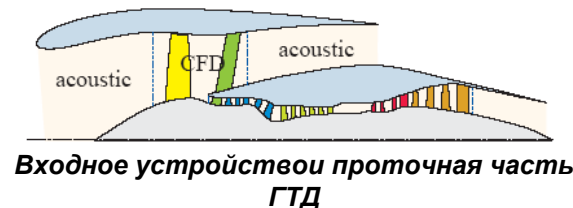
- Расчет с применением модуля DGM может автоматически сопровождаться вычислением акустики в дальнем поле
- Не требуется запускать этот расчет вручную
- Ускоряется счет, уменьшается вероятность ошибок



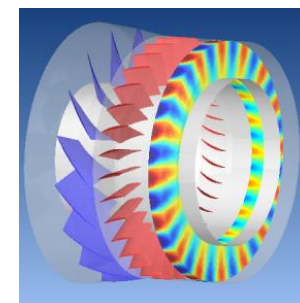
Модифицированная утилита iTM

Actran 15

- Утилита встроена в общий решатель
- Поддерживаются все форматы модуля iCFD (Fluent, CFX (EnsightGold), StarCCM, CGNS и др.)
 - Не требуется программирование или применение сторонних программ для доступа к результатам CFD
- Утилита поддерживает ввод данных в системе координат, вращающейся вместе с газодинамической сеткой
 - данные автоматически интерполируются на неподвижную акустическую сетку
- Акустическая сетка строится программой автоматически (в соответствии с параметрами, заданными пользователем)
- Визуализация промежуточных шагов расчета: по времени и по частоте



Модальный состав шума в Actran

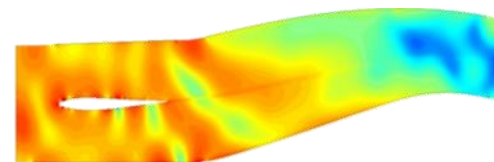
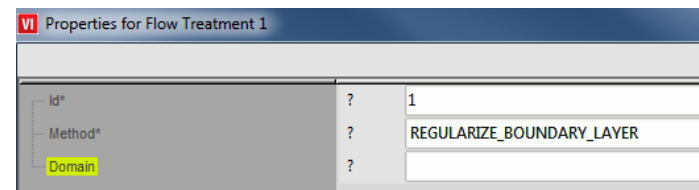


Определение модального состава шума для вращающейся области CFD-расчета

Mode	Id	*	n	*	m	*	Re(A_i)	*	Im(A_i)	*	Re(A_r)	*	Im(A_r)
0	1		0		1.71111e-01		-2.04825e-02		-2.85065e-01		-3.41813e-01		
1	2		0		-3.18134e-02		-4.34584e-03		-1.18529e-02		-6.70205e-03		
2	3		0		-2.00028e-02		2.80498e-02		-3.99646e-02		-1.16407e-02		
3	4		0		-8.09109e-02		-9.29832e-03		1.80737e-03		-3.98605e-02		
4	5		0		-4.43693e-02		-5.71363e-02		9.23134e-03		-1.22462e-02		
5	6		0		-4.97220e-02		-3.29483e-02		-2.39710e-03		1.29157e-04		
6	7		0		-5.64255e-02		6.26448e-02		-1.70417e-03		1.62480e-03		
7	8		0		2.52073e-02		5.62691e-02		5.74799e-04		2.06032e-04		

Комплексные амплитуды канальных мод

- Для целей достижения корректности и точности результатов счета могут потребоваться преобразования исходных данных из CFD-решателя
- Интерполяция потока (поля скоростей, плотностей, и т.д.) на акустическую сетку может сопровождаться дополнительными преобразованиями:
 - удаление пограничного слоя
 - «обрезка» поля скоростей (не должно быть превышения скорости звука)
 - сглаживание данных CFD



*Среднее течение в проточной части ГТД,
отображение в Actran*

```
BEGIN FLOW_TREATMENT 2  
  METHOD REGULARIZE_BOUNDARY_LAYER  
  DOMAIN by_pass_walls  
  method_parameters_section  
  INTERMEDIATE_OUTPUT_NFF map.nff  
END FLOW_TREATMENT 2
```

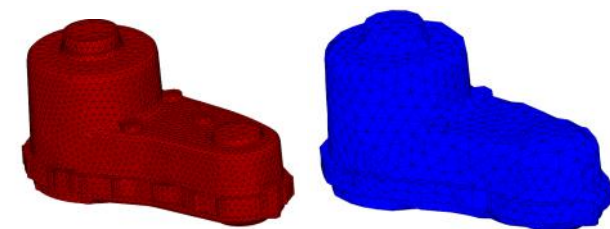


Графический интерфейс Actran VI Производительность

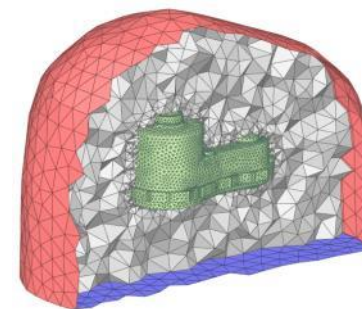
Специализированный инструментарий для генерации сетки

Actran 15

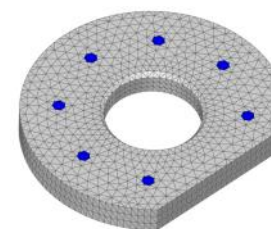
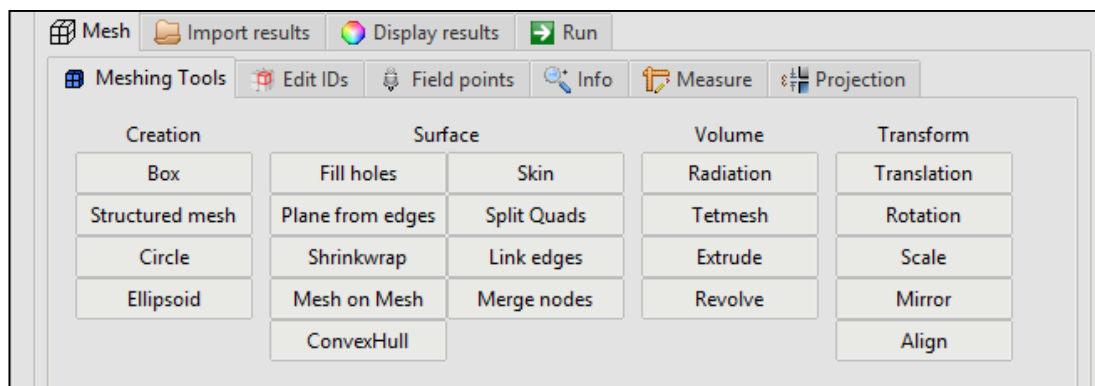
- В Actran VI интегрированы инструменты генерации сеток: mesh-on-mesh, tet-mesh, shrink-wrap (автоматическое окружение сеткой тела произвольной формы), convex hull, hole filling, extrusion, transformation, merge nodes, radiation ...
- Существенное ускорение подготовки расчетной модели в Actran VI
- Добавлены соответствующие API - функции Actran VI



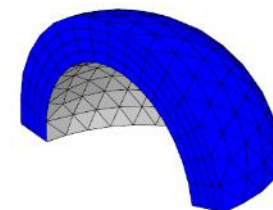
Сетка на сетке



Генератор tet - сетки и выпуклой поверхности



Заполнение отверстий

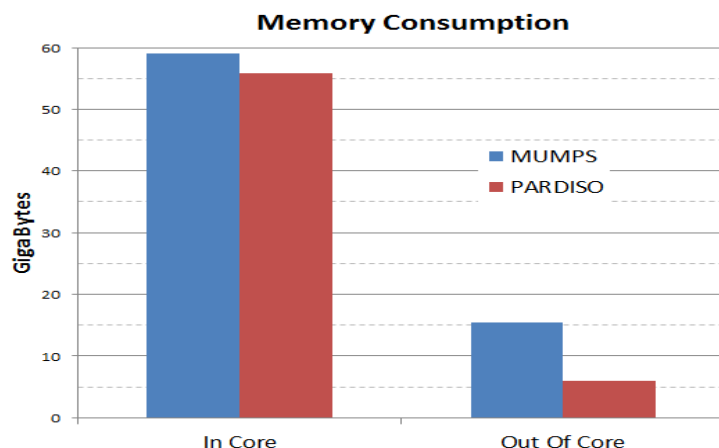


Экструдирование

Постоянное повышение производительности решателя Actran

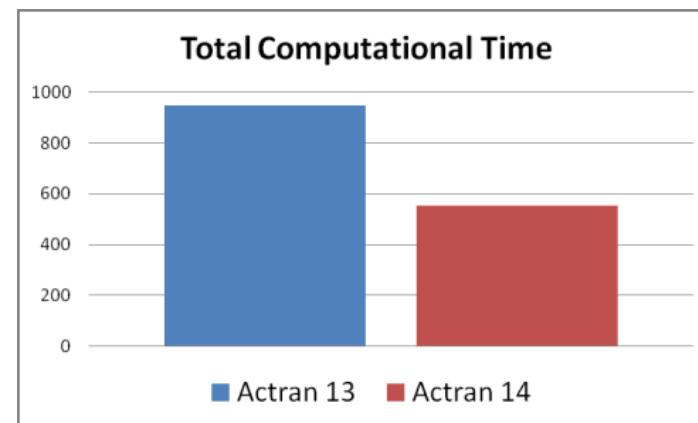
- Доработка решателя MUMPS
- Ввод решателя PARDISO (Intel MKL PARDISO)

Использование оперативной памяти (MUMPS и PARDISO)



Входное устройство ГТД,
частота 1500 Гц

Время счета:



680 тыс. степеней свободы,
1 вектор в правой части, 64
частоты 32 ядра
использовались



Спасибо за внимание!