



РОСАТОМ

ГОСУДАРСТВЕННАЯ КОРПОРАЦИЯ ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ «РОСАТОМ»

Р Ф Я Ц
ВНИИЭФ

ЛОГОС-Аэрогидромеханика

Состояние и перспективы

Москва ИПМ
2-3.12.2017
Дерюгин Ю.Н.

План доклада

1. Общая характеристика ПП ЛОГОС
2. Результаты 2017 ЛОГОС.CFD
3. Планы на 2018 ЛОГОС.CFD
4. Состояние дел и достижения по препроцессору
5. Состояние дел и достижения по постпроцессору

Общая характеристика ПП ЛОГОС



CFD

Аэродинамика

Газодинамика

Гидродинамика

Теплопроводность

Прочность

Статическое деформирование

Динамическое деформирование

Контактное взаимодействие

Разрушение

ПреПостПроцессор

Импорт и обработка CAD/FEM/CFD-моделей

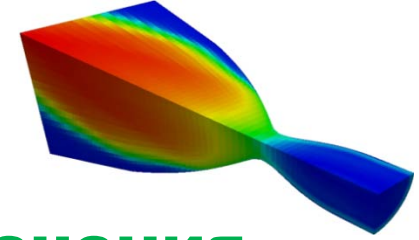
Генерация поверхностных и объемных сеток

Визуальная среда для подготовки расчетной модели

Интерактивная система инженерной визуализации



ЛОГОС-TVD



Совмещенный решатель

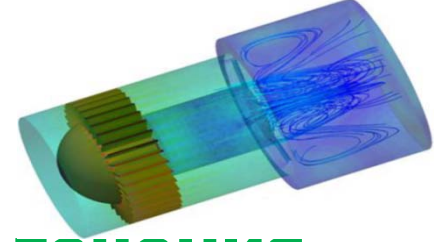
Трансзвуковые и гиперзвуковые течения

- **Вихреразрешающие модели турбулентности** DDES, EDES
- **Расчет шума в дальнем поле (в том числе шума струй)**
- **Низкодиссипативные схемы - конвективные потоки**
- **Ламинарное (Laminar Finite Rate) и турбулентное горение (Eddy Break Up, Eddy Dissipation Concept)**
- **Капельно-дисперсные среды (испарение и дробление)**
- **Стационарное/нестационарного взаимодействие пары ротор-статор**
- **Расчет на сетках с перекрытиями**
- **Модели выделения химических веществ (углекислого газа и водяного пара)**
- **Статическая адаптация сетки под особенности решения**
- **Технология решения связанных задач – трехмерная теплопроводность, прочность**



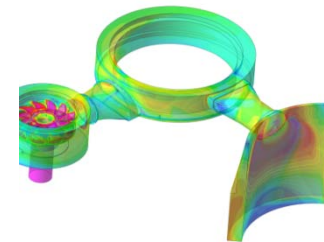
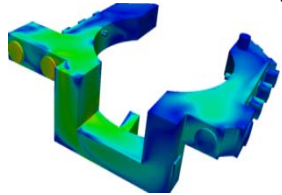
ЛОГОС-SIMPLE

Разделенный решатель



Несжимаемые и слабосжимаемые течения

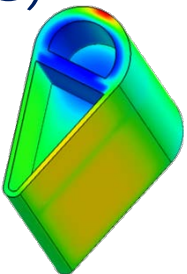
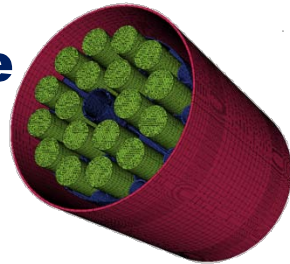
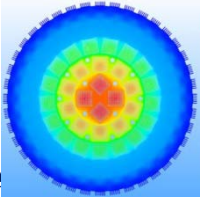
- **Зональный RANS-LES на основе последних модификаций вихреразрезающих моделей (DDES, IDDES)**
- **Генератор синтетической турбулентности на основе RSM**
- **Многофазные течения со свободной поверхностью с учетом сжимаемости фаз и возможностью расчета на подвижных сетках – сетки Химера и «морфинг»**
- **Анизотропные пористые среды с учетом прогрева скелета**
- **Моделирование течений с низкими числами Прандтля**
- **Моделирование стратифицированных течений**
- **Модуль моделирования геофизических явлений (цунами, штормовые нагоны ...) с учетом батиметрических данных**
- **Технология решения связанных задач – трехмерная теплопроводность, прочность и 1D коды**



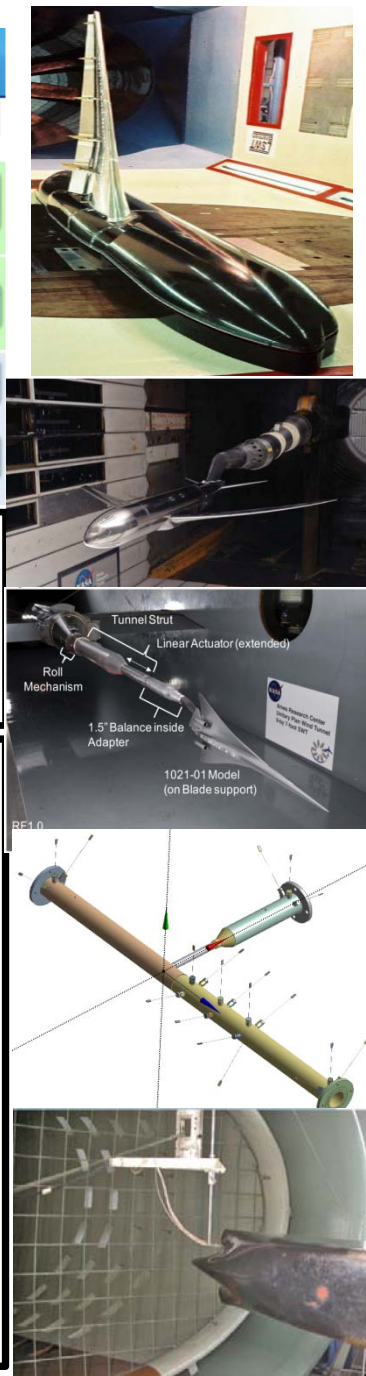
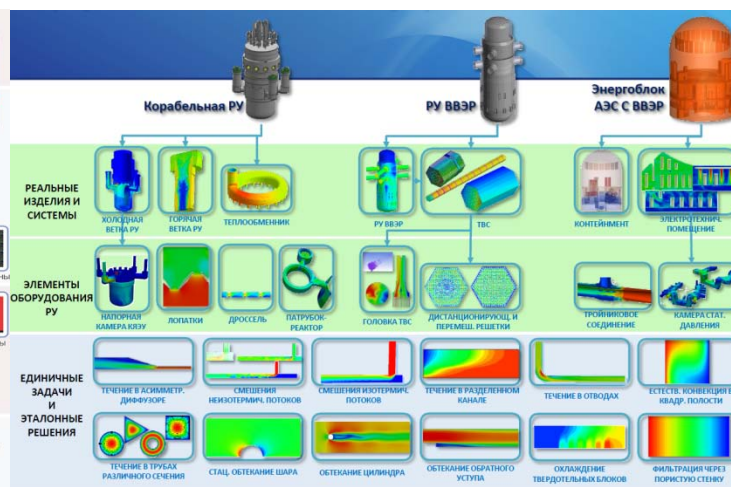
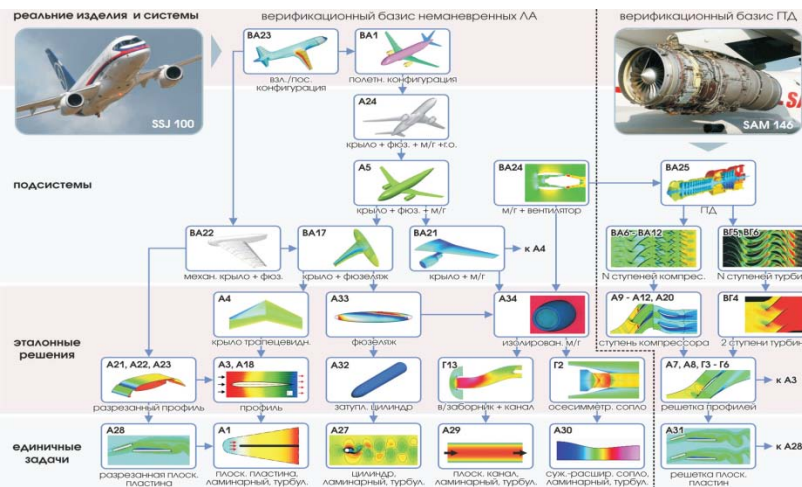
ЛОГОС-HEAT

Распространение тепла в неподвижных средах

- Стационарная и нестационарная теплопроводность
- Не состыкованные расчётные сетки и анизотропные материалы
- Радиационный теплообмен (вакуум, теплопроводные среды)
- Фазовые переходы и термическое сопротивление
- Нагрев и воспламенение взрывчатых веществ
- Подвижные тела и формоизменение
- Нейтронный разогрев
- Зависимость свойств материалов от температуры, времени, координат
- Источники энерговыделения (объёмные, мгновенные)
- Зависимость параметров граничных условий от произвольных величин
- Технология связи с 3D аэро-, гидродинамикой и прочностью



База данных верификации и валидации пакета программ ЛОГОС



Адаптация пакета программ ЛОГОС в интересах внедрения перспективные разработки – авиация, АЭ, космос, судостроение

1. АДХ ШФДМС во взлетно/посадочной конфигурации и на крейсерских режимах полета – **25 характерных задач**
2. АДХ сверхзвуковых ЛА на крейсерских режимах – **5 задач**
3. Жидкометаллические теплоносители – **10 задач**
4. Стратифицированные течения – **5 задач**
5. Многофазные течения со свободной поверхностью – **15 задач**
6. Моделирования горения и обледенения – **10 задач**
7. Моделирование струй и акустики – **10 задач**
8. Связанные и сопряженные процессы – **10 задач**

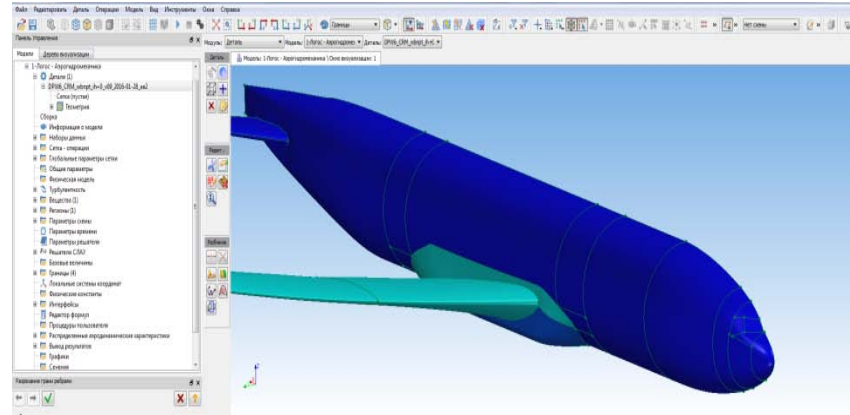
Функционал 2017 года, поставляемый на предприятия

- 1. Функциональный блок для расчета задач шума струи двигателя и виброакустики.**
- 2. Функциональный блок расчета на сетках со статической адаптацией под особенности решения средствами ЛОГОС-ТМП.**
- 3. Функциональный блок расчета термокомфорта с учетом выделения водяного пара и углекислого газа.**
- 4. Функциональный блок моделирования работы вентилятора.**
- 5. Функциональный блок расчёта теплопроводности на несостыкованных сетках.**
- 6. Функциональный блок расчёта радиационного теплообмена с учётом зависимости степени черноты от температуры.**
- 7. Функциональный блок расчёта связанных задач течения двухфазной жидкости и теплопроводности.**
- 8. Функциональный блок расчёта фазового перехода энтальпийным подходом.**
- 9. Функциональный блок расчета нестационарного смешения неизотермических потоков с использованием вихреразрешающих моделей турбулентности.**

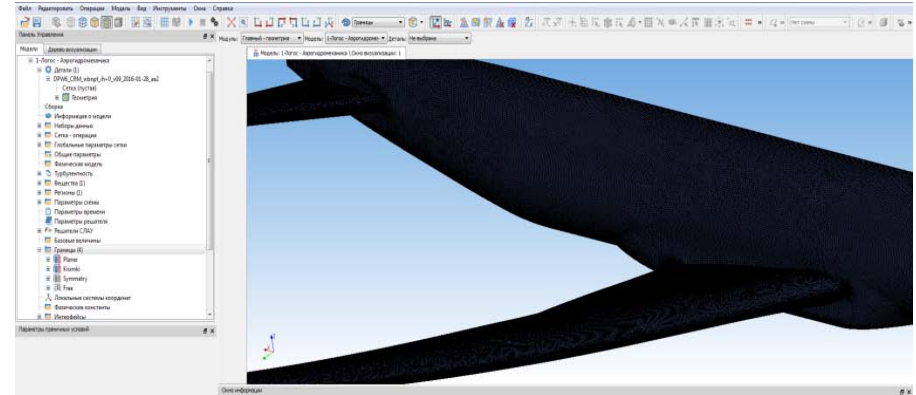
Ускорение расчетов

- Алгебраический многосеточный метод не имеющий ограничений на количество процессов
- Геометрический многосеточный метод инициализации
- Технология «каскадного» сбора с «тысяч» процессов
- Параллельное многопоточное чтение расчетной сетки
- Параллельная распределенная декомпозиция неструктурированной расчетной сетки
- Упорядочивание ячеек по алгоритму Катхилла-Макки для эффективного использования кэша процессора
- Определение пространственной близости ячеек на основе kD-деревьев
- Векторизация функций работы с матрицам малой размерности для векторных расширений: SSE, AVX
- Использование асинхронных MPI обменов

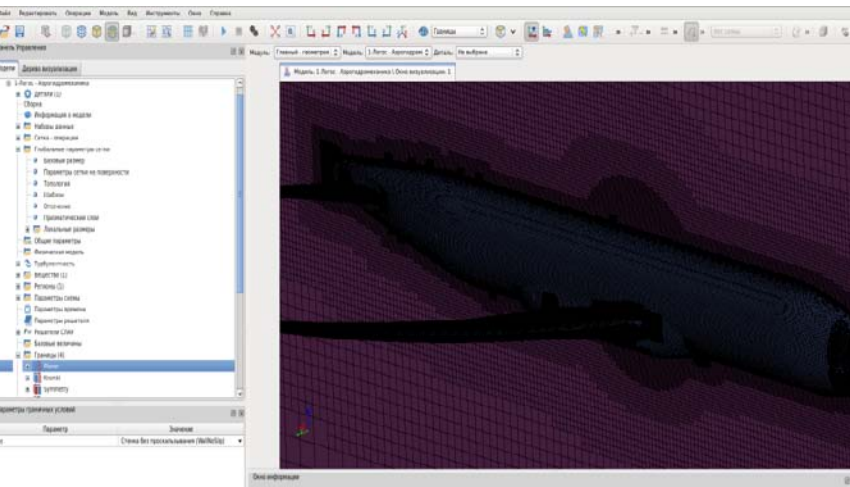
Сквозная технология подготовки дискретных моделей на примере DPW 6 (Case 3)



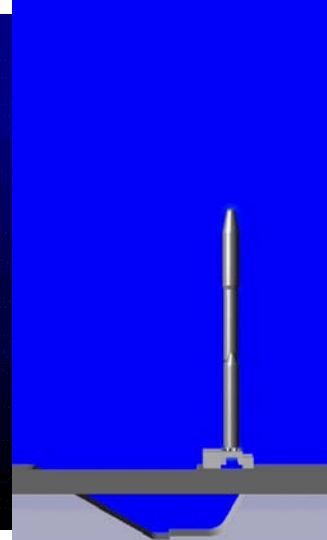
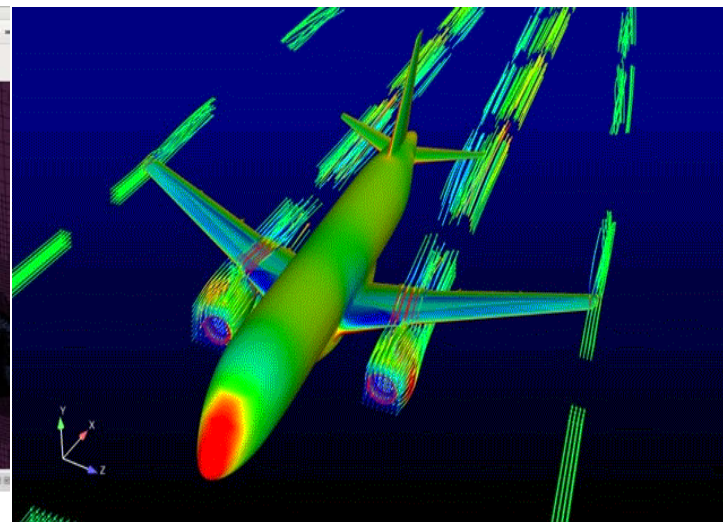
Работа с аналитическими поверхностями



Поверхностная сетка: 680.000 треугольников
Время работы генератора: 30 мин



Объемная сетка: 34 млн. ячеек (45 призматических слоев, усеченные шестигранники).
Время работы генератора : 36 мин.

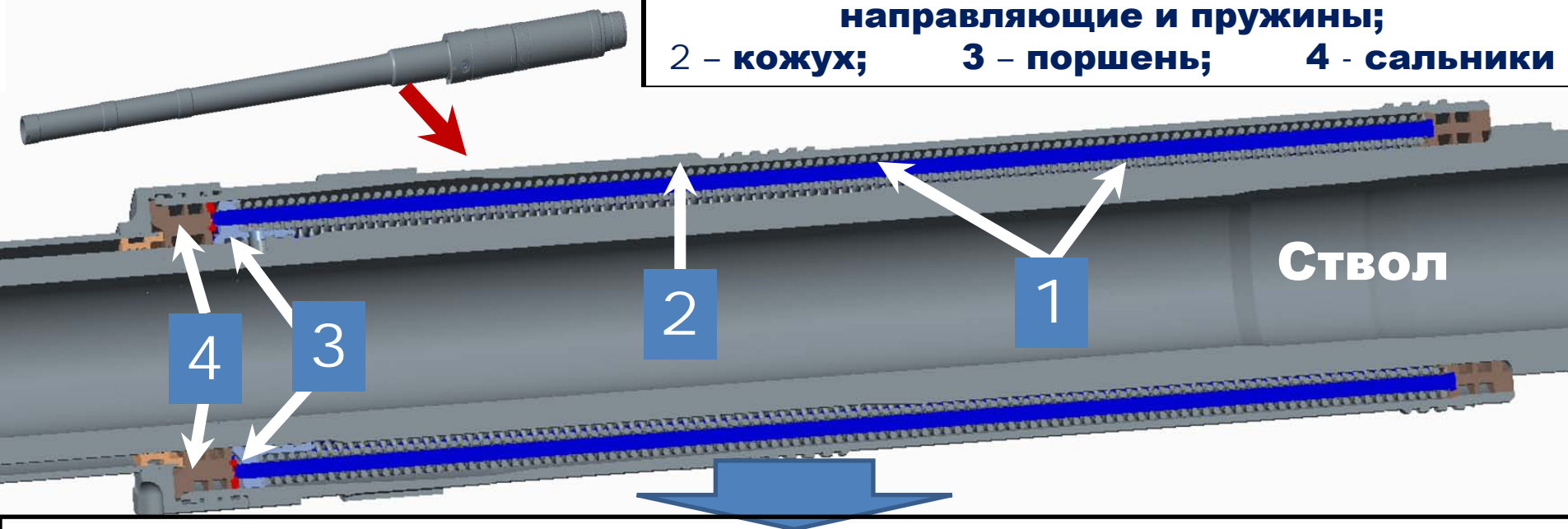


Стационарный расчет на 840 ядрах
Сходимость за 2000 итераций

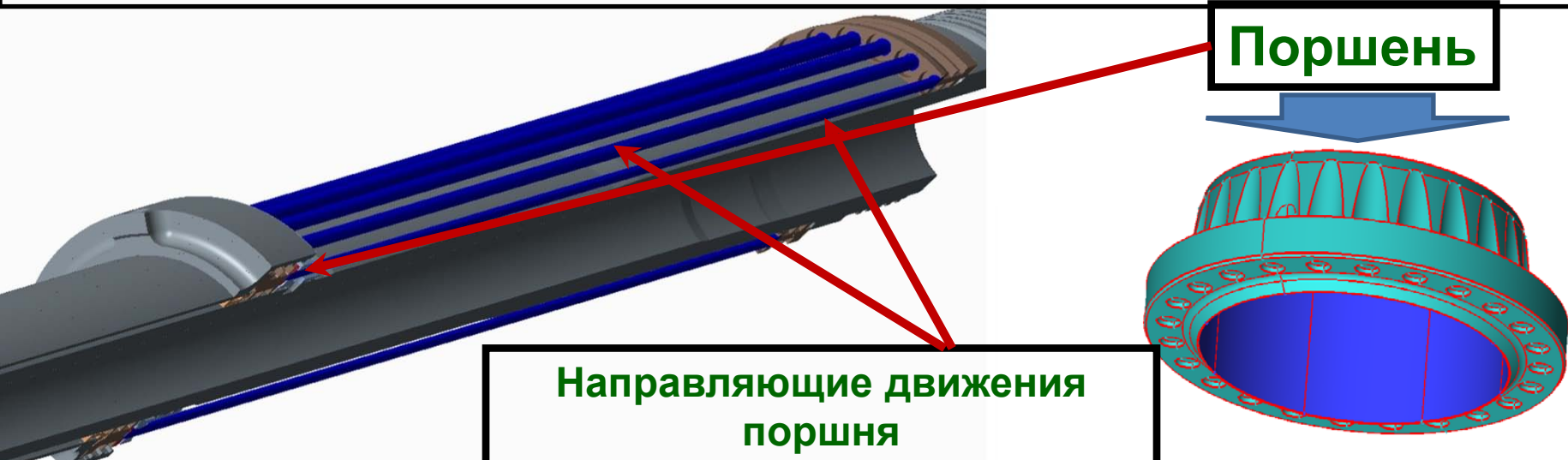
	ЛОГОС	CFD++ (опубликованные результаты DPW6)	Эксперимент
C _{xa}	0.0262	0.0261	0.0226
C _{ya}	0.483	0.49	0.46

Гидротормозное устройство обращенного веретенного типа с наличием свободного объема в цилиндре с рабочей жидкостью

1 - цилиндр с рабочей жидкостью:
направляющие и пружины;
2 - кожух; 3 - поршень; 4 - сальники



Цилиндр с рабочей жидкостью без кожуха



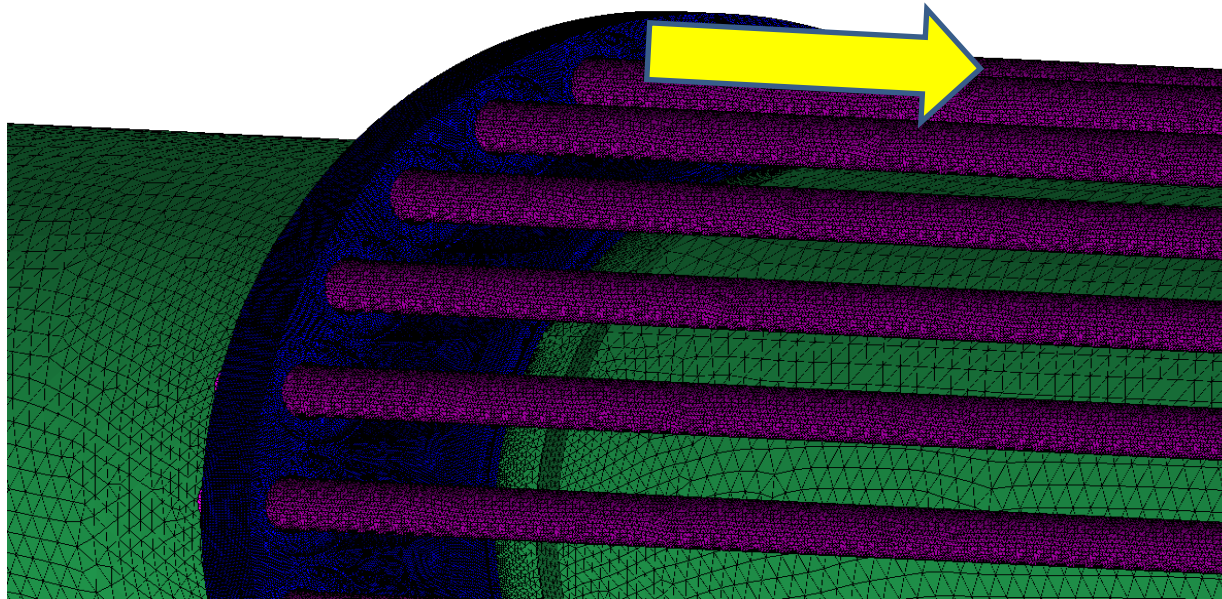
Сквозная технология подготовки дискретных моделей

*Кинематика поршня –
отдельная сеточная модель*

**Поршень – все
особенности**

*Отдельная сеточная модель
для направляющих*

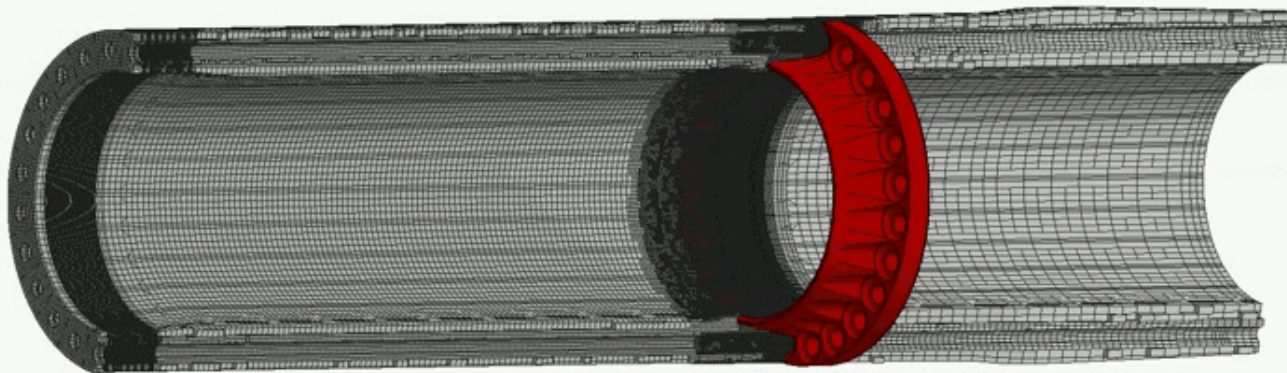
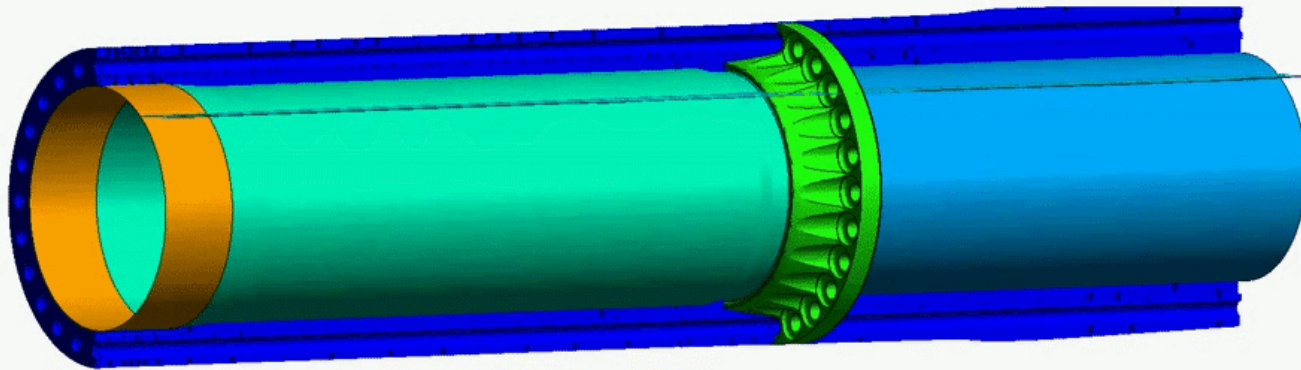
Изделие-



Сетка, млн:
Поршень: ~25
Направляющие: ~ 10
Итого: ~35

Расчет в ЛОГОС

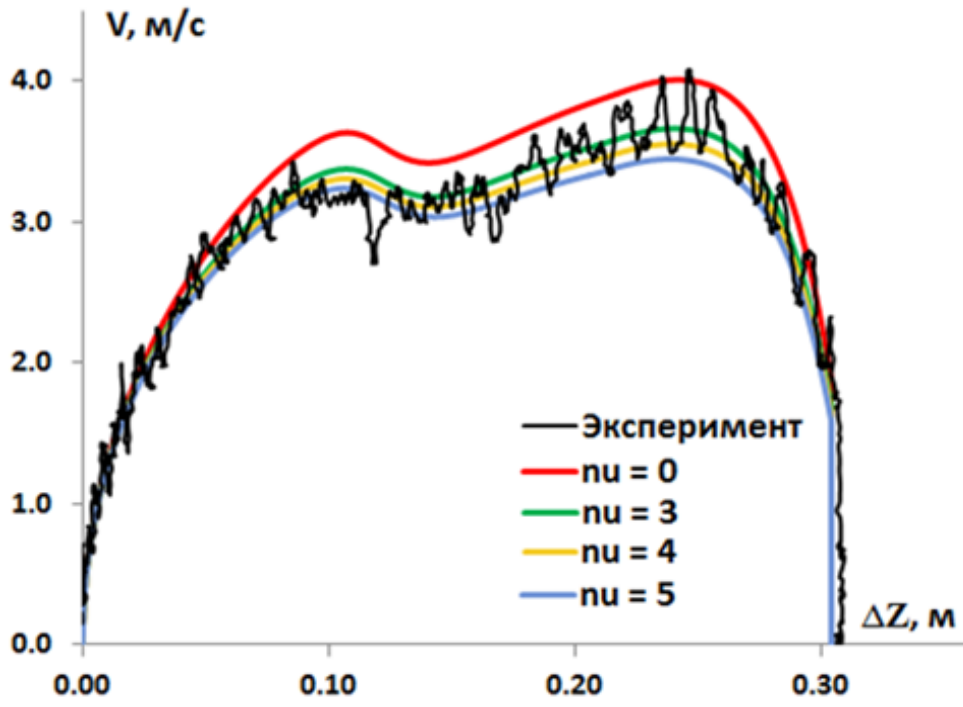
Scientific View Time: 0.000000 сек



Особенности

Физико-технические аспекты

1. **Рабочая среда** - арктическое дизельное топливо
2. **Сложная кинематика** – подвижные сетки
3. **Свободный объем** – течение многофазное
4. **Наличие сужений** – высокие числа Рейнольдса
5. **Высокие числа Рейнольдса** – течение турбулентное
6. **Критические режимы работы** - фазовые переходы+нагрев

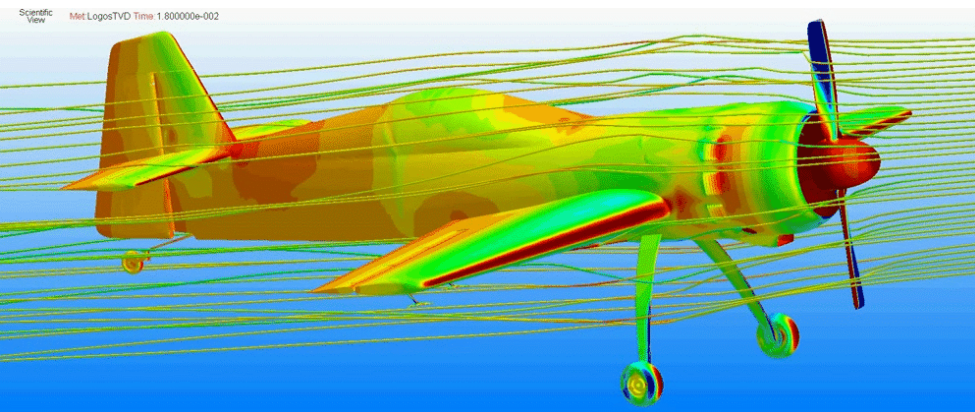


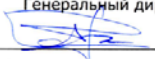
2018

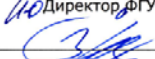
1. **Серия выстрелов**
2. **Быстрый нагрев и сжатие жидкости**
3. **Многоскоростное приближение**
4. **«Вспенивание»**

!!! Специальные требования к сеточной модели !!!

Турбовинты



УТВЕРЖДАЮ
Генеральный директор ПАО «Ил»

А.Д. Рогозин
« » 2017г.

УТВЕРЖДАЮ
Директор ФГУП «РЯЦ-ВНИИЭФ»

В.Е. Костюков
« » 2017г.

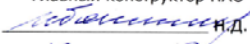
ПЛАН

пилотного проекта внедрения комплекса ЛОГОС
в работы ПАО «Ил»

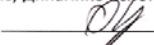
СОГЛАСОВАНО:

От ПАО «Ил»


Главный конструктор ПАО «Ил»


Н.Д. Таликов
« 10 » 10 2017г.

Заместитель Главного конструктора по Аэродинамике, Динамике полета и системе управления


О.В. Круглякова
« » 2017г.

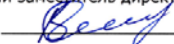
Начальник отдела Аэродинамики и Динамики полета


Г.М. Цимбалюк
« » 2017г.

СОГЛАСОВАНО:

От ФГУП «РЯЦ-ВНИИЭФ»

Первый заместитель директора, директор ИТМФ


В.П. Соловьев
« » 2017г.

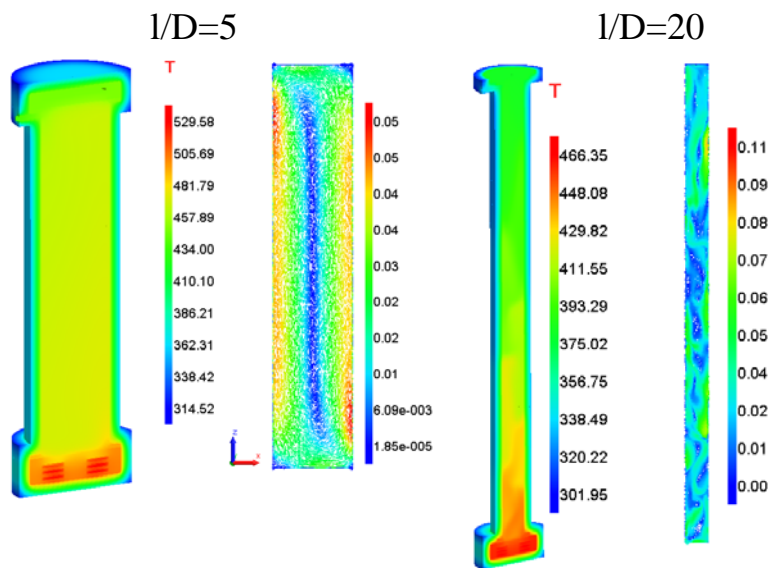
Первый заместитель директора ИТМФ, начальник отделения 08


Р.М. Шагалиев
« » 2017г.

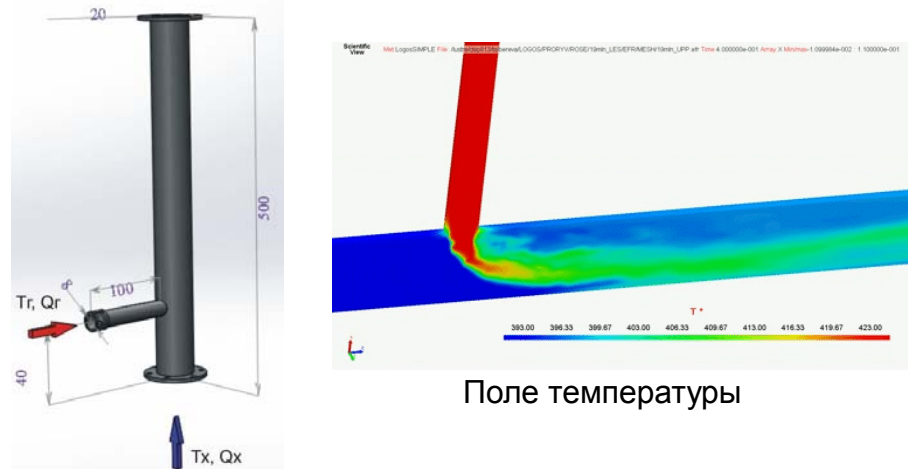
1. Моделирование работы воздушного винта с мотогондолой на изолированном крыле и в составе полной компоновки самолета, включая несимметричную задачу и полет со скольжением (Ил-112В, Ил-38)
2. Обтекание самолета с открытой грузовой рампой и створками при десантировании грузов. Движение сбрасываемого груза на начальном участке движения и свободного падения(самолеты Ил-76, Ил-276).

Адаптация моделей турбулентности к теплоносителям различного типа

Конвективное течение натрия в произвольно ориентированном участке трубопровода

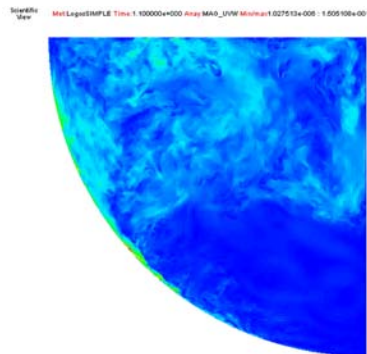
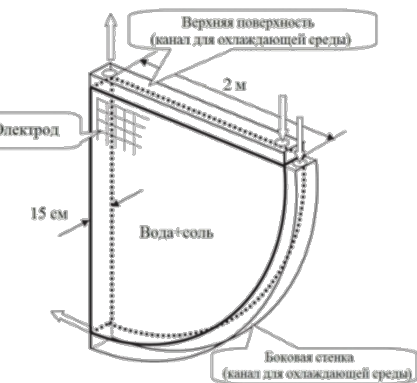


Моделирование эксперимента по смешению разнотемпературных потоков модельного ТЖМТ в Т-образном смесителе

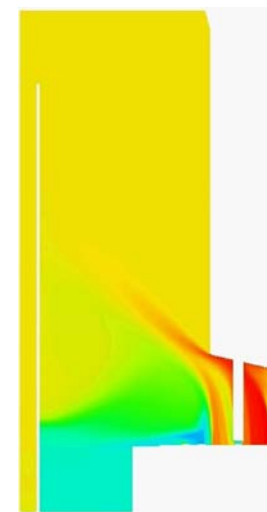
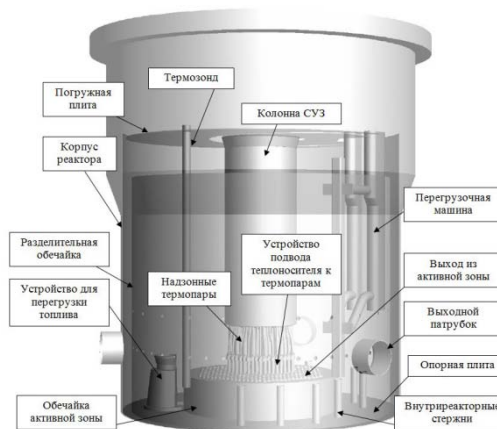


Поле температуры

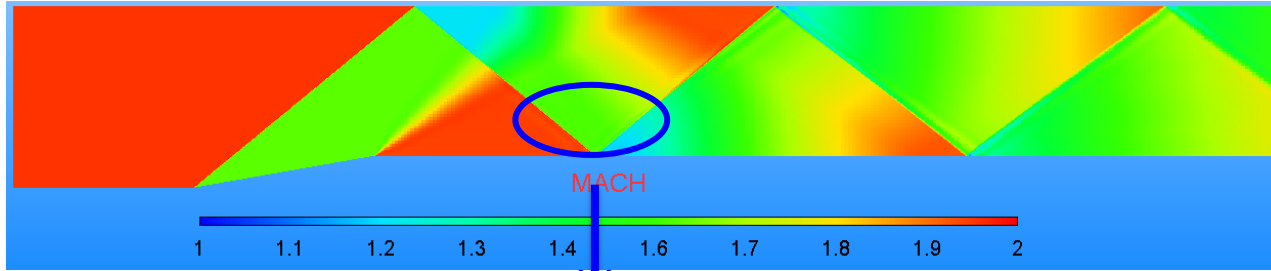
Моделирование эксперимента Vali. Исследование тепломассопереноса и моделирования конвекции в реакторе со сферическим дном в масштабе 1:1



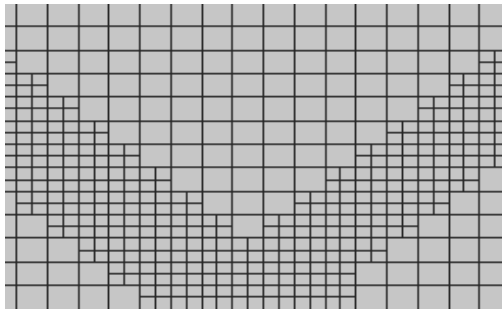
Естественная и вынужденная конвекция в верхней камере реактора MONJU



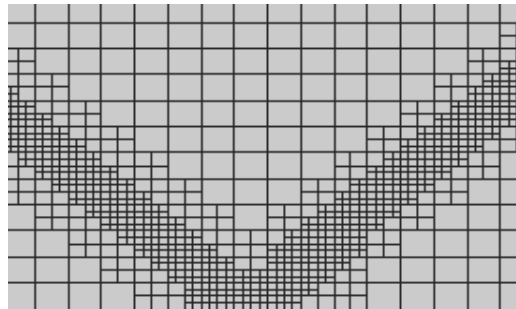
Статическая адаптация под особенности решения



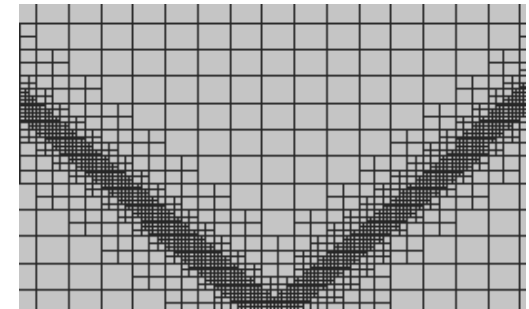
Сетка в области скачка на разных уровнях адаптации



1-й уровень адаптации



2-й уровень адаптации

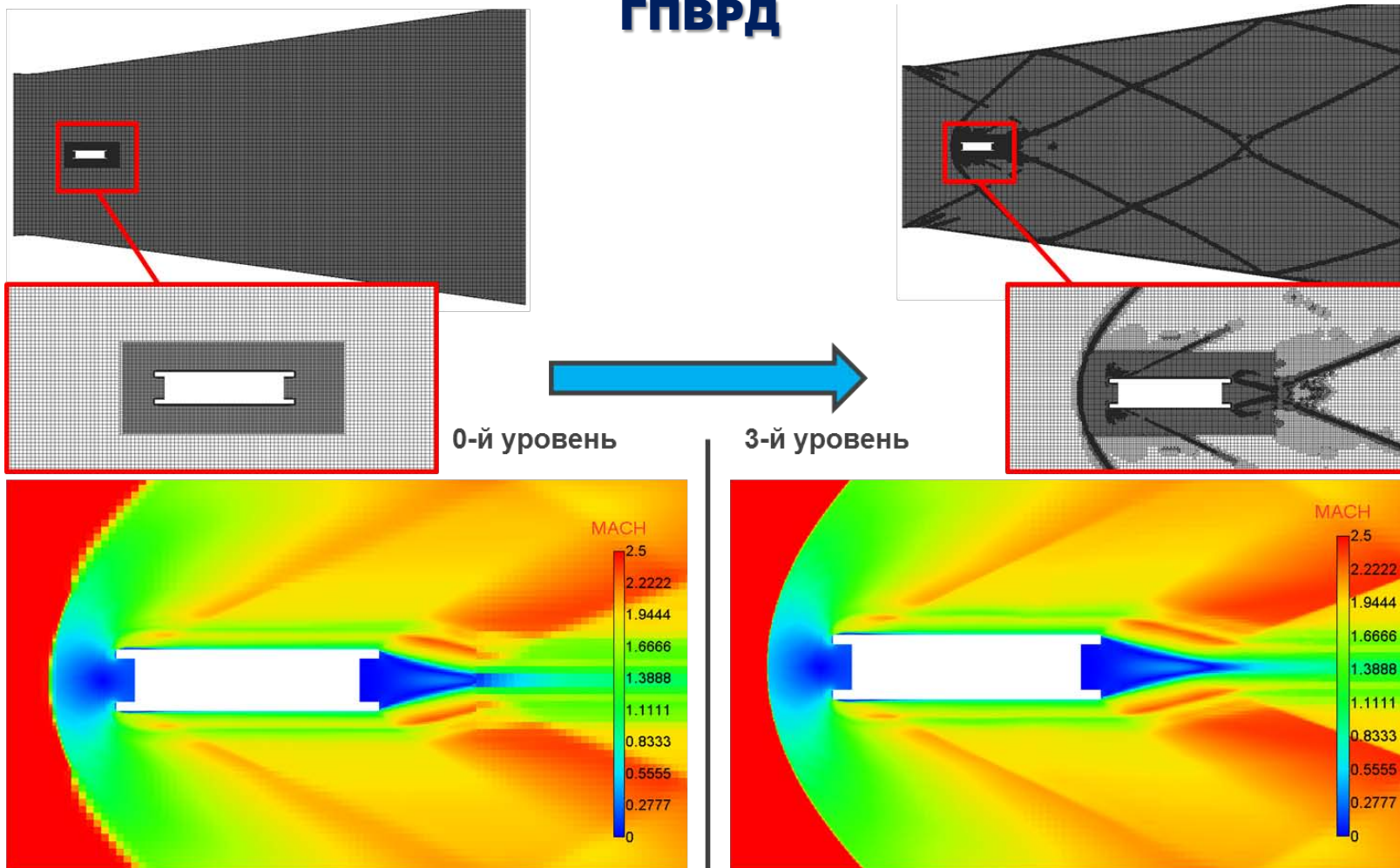


3-й уровень адаптации

Критерий адаптации: $f = (V_{cell})^{2/3} \cdot |\nabla F|$
 $(V_{cell})^{2/3}$ – характерный размер ячейки
 $|\nabla F|$ – модуль градиента физ. величины

Статическая адаптация под особенности решения

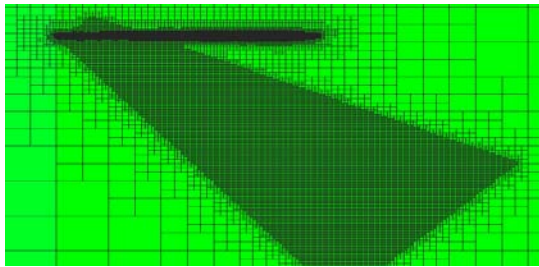
Моделирование горения водорода в модельной камере сгорания ГПВРД



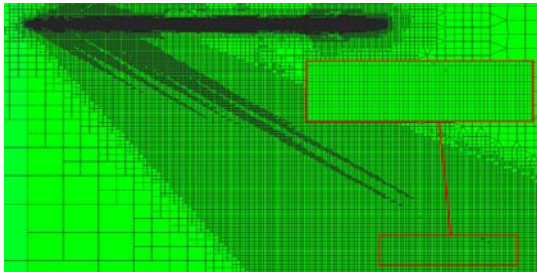
Статическая адаптация под особенности решения

Расчет сверхзвукового обтекания ЛА с крылом дельтовидной формы

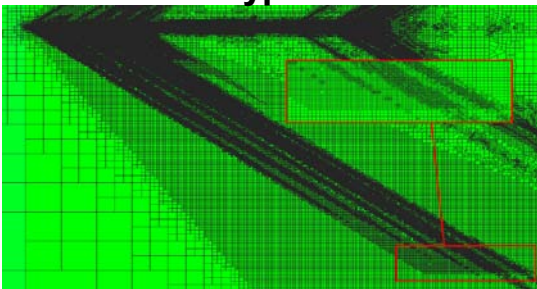
0-й уровень



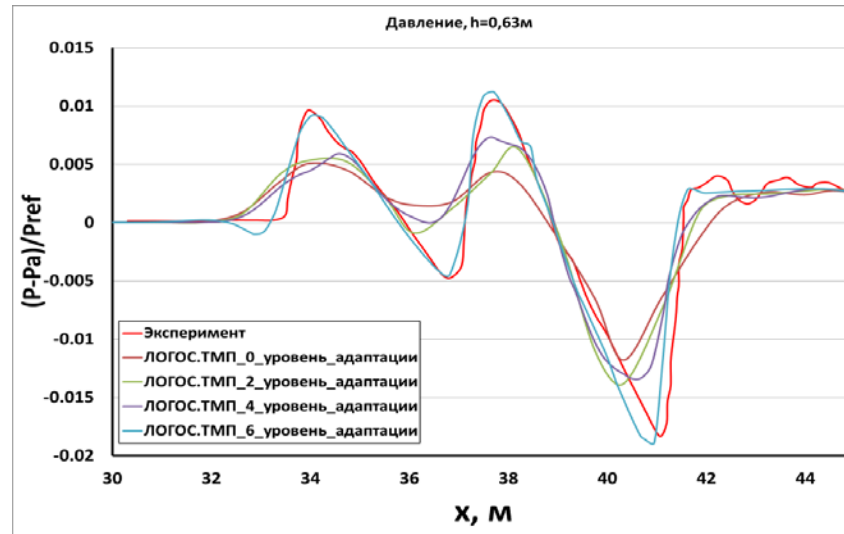
1-й уровень



6-й уровень



Распределение
числа Маха

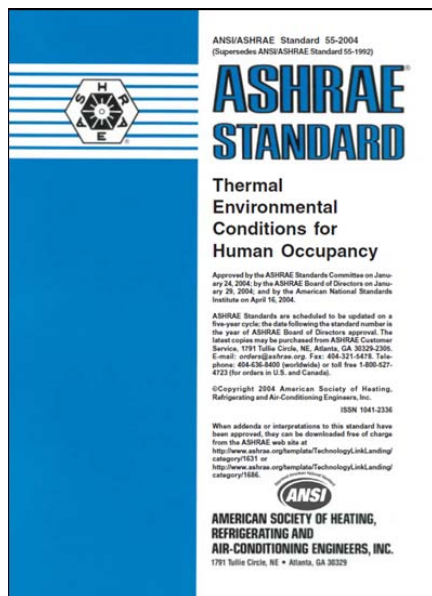


Относительное
давление в
дальнем поле

Модель термокомфорта с учетом выделения водяного пара и углекислого газа

Уравнение теплового баланса тела

$$M - W = Q_c + Q_r + E_d + E_{sw} + C_{res} + E_{res} + 3.96 \cdot 10^{-8} f_{cl} \{ (t_{cl} + 273)^4 - (\bar{t}_r + 273)^4 \} - f_{cl} h_c (t_{cl} - t_a)$$



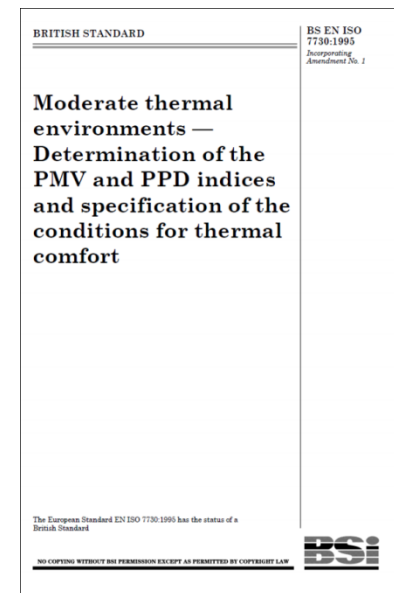
Индекс субъективных ощущений

+3	Жарко
+2	Тепло
+1	Слегка тепло
0	Нейтрально
-1	Слегка прохладно
-2	Прохладно
-3	Холодно

Процент дискомфорта

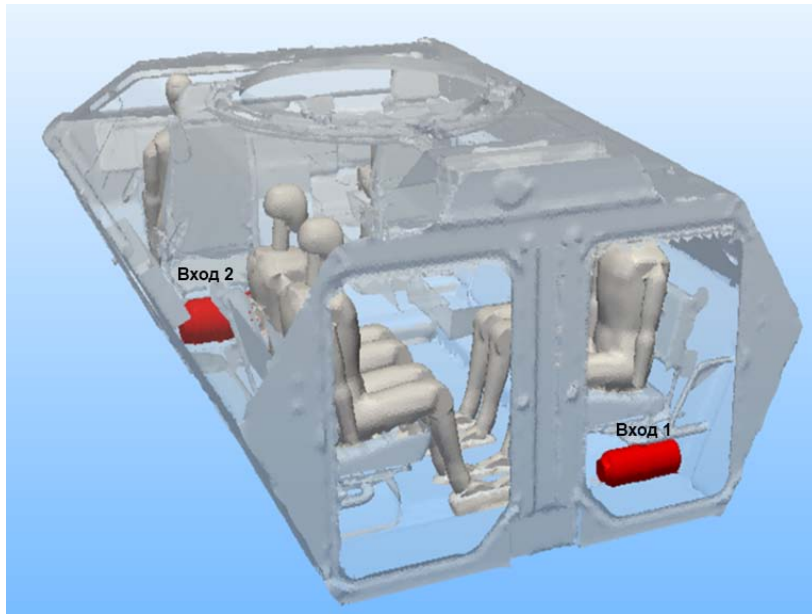
$$-0,5 < PMV < 0,5$$

$$PPD < 10\%$$



Модель термокомфорта с учетом выделения водяного пара и углекислого газа

Кондиционирование салона автомобиля

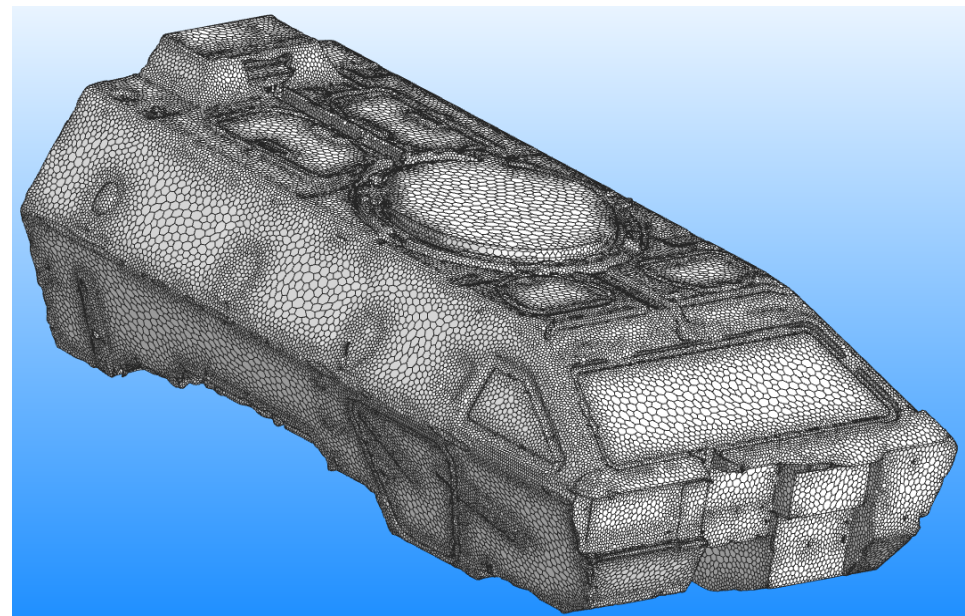


Твердотельная модель

Размер сетки 1.2 млн. ячеек

Температура стенок кузова равна 0°C

Уровень одежды равен 2.0 clo



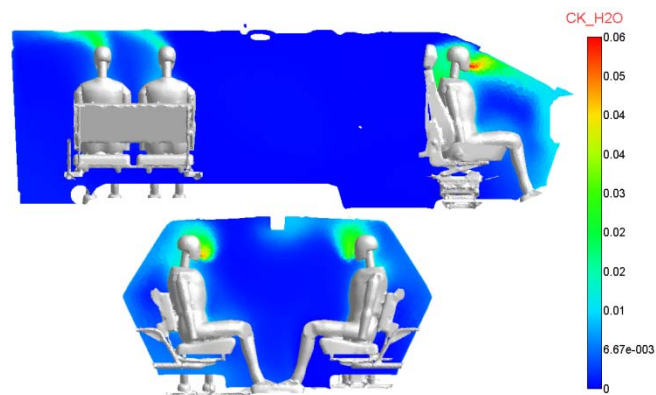
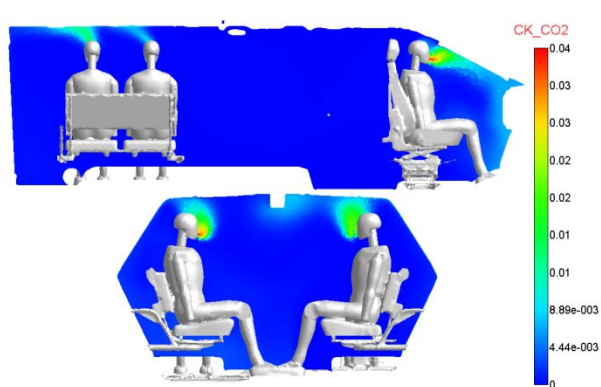
Сеточная модель задачи

Температура втекающего воздуха равна 20°C

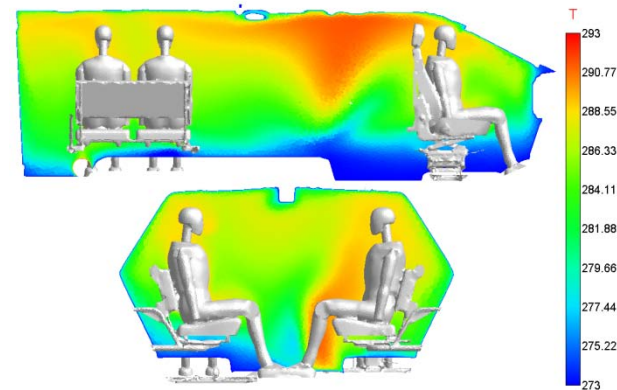
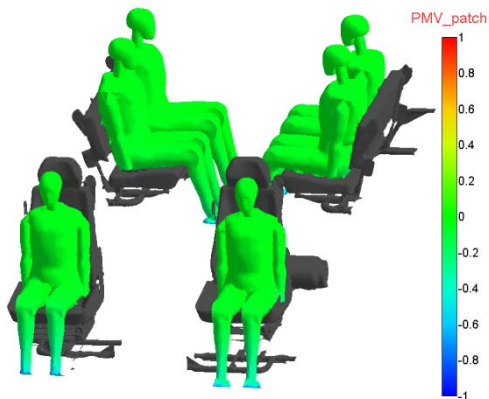
Уровень метаболизма манекенов равен 1.0 Met

Модель термокомфорта с учетом выделения водяного пара и углекислого газа

Кондиционирование салона автомобиля



Распределения массовой концентрации углекислого газа (слева) и паров воды (справа) в салоне автомобиля

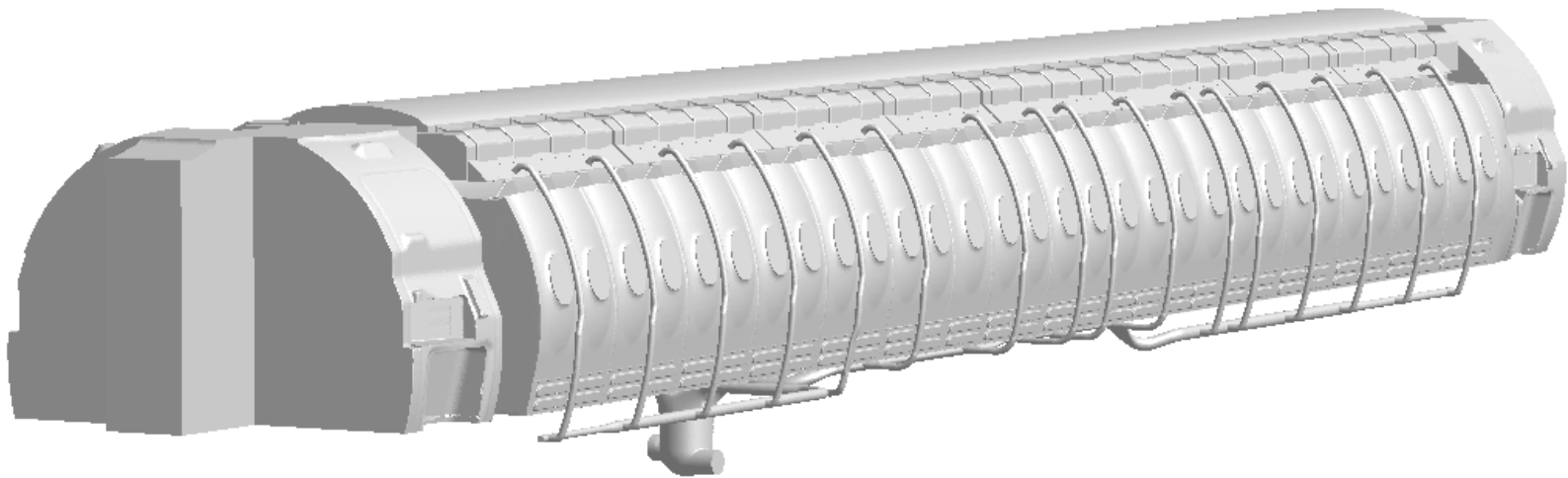


Уровень комфорта пассажиров

Распределение температуры в салоне автомобиля

Модель термокомфорта с учетом выделения водяного пара и углекислого газа

Кондиционирование салона пассажирского лайнера



Размер сетки 115 млн. ячеек

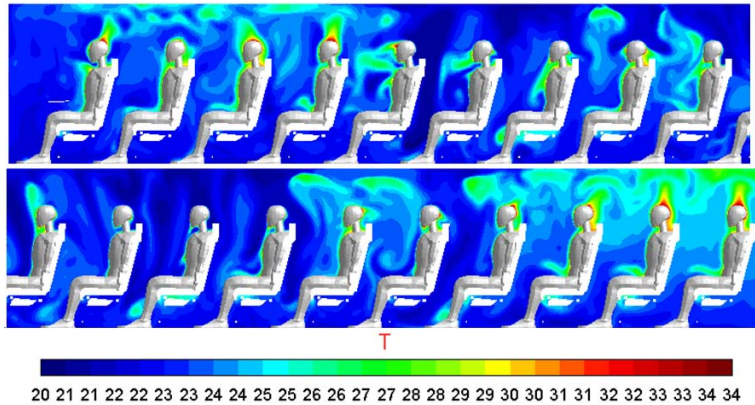
Температура втекающего воздуха равна 21°C

Уровень метаболизма манекенов равен 1.0 Met

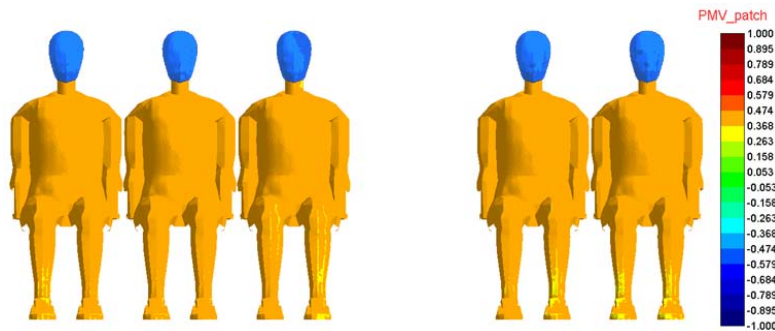
Уровень одежды (кроме головы) = 0.6 clo

Модель термокомфорта с учетом выделения водяного пара и углекислого газа

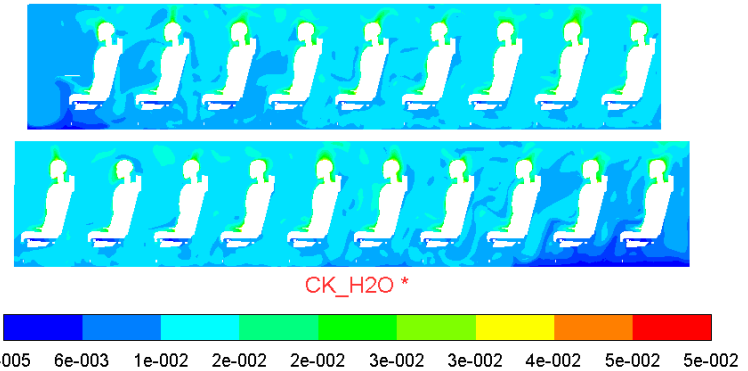
Кондиционирование салона пассажирского лайнера



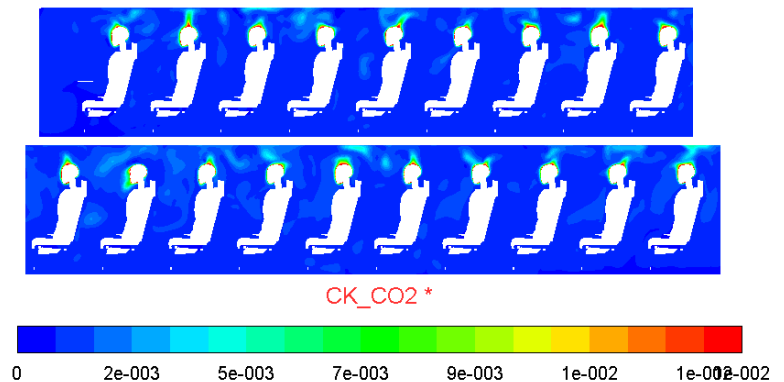
Температура в продольном сечении салона



Распределение уровня комфорта (PMV) на поверхности моделей пассажиров



Распределение водяного пара

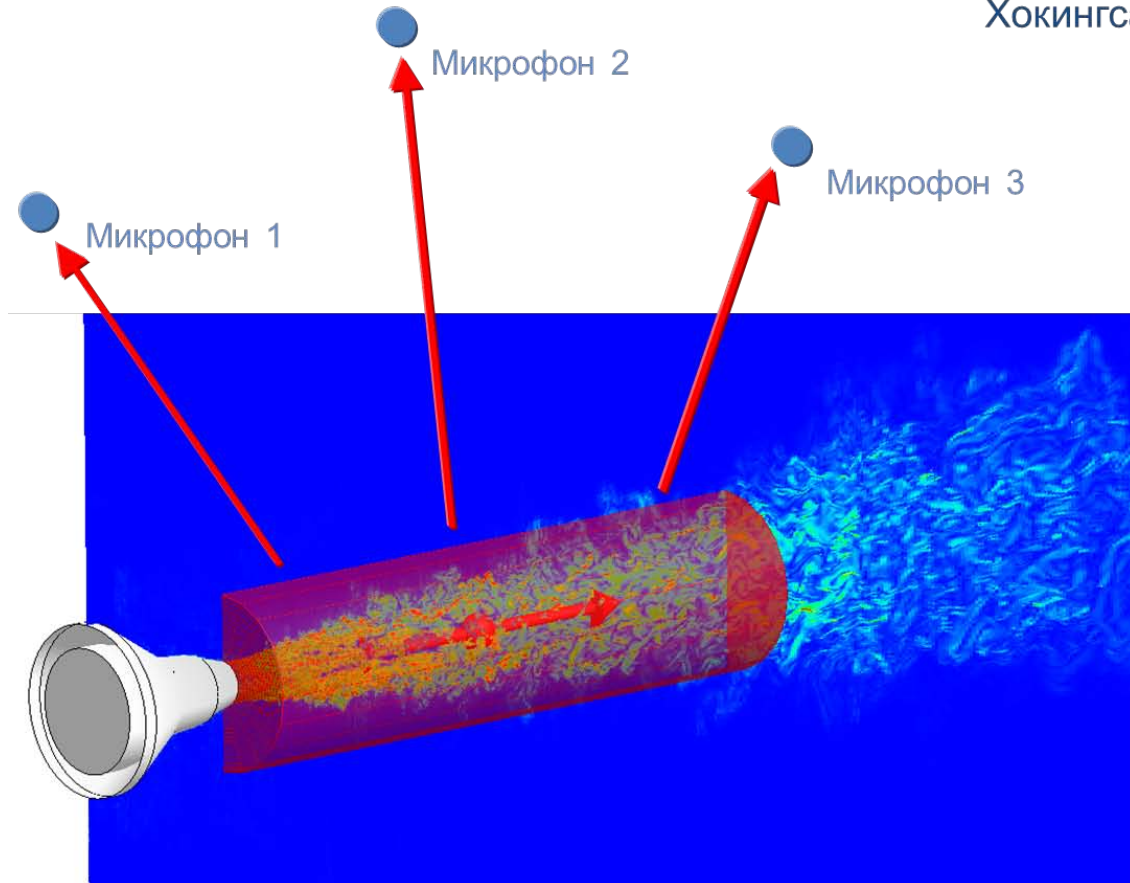


Распределение углекислого газа

Прогрев салона самолета людьми в среднем составил 5°C

Шум струй двигателя и вибраоакустика

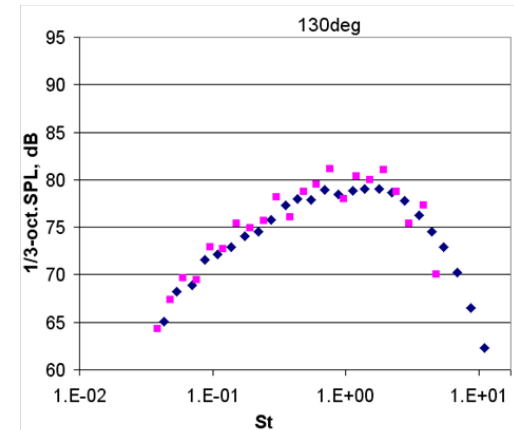
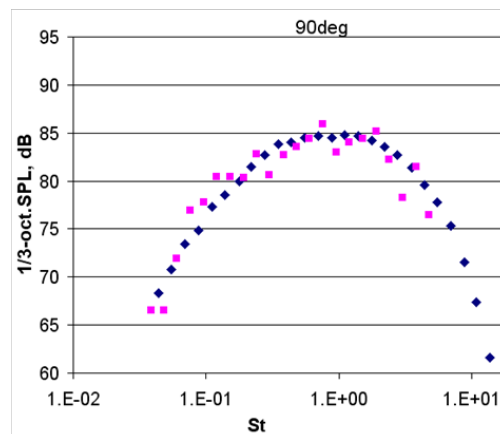
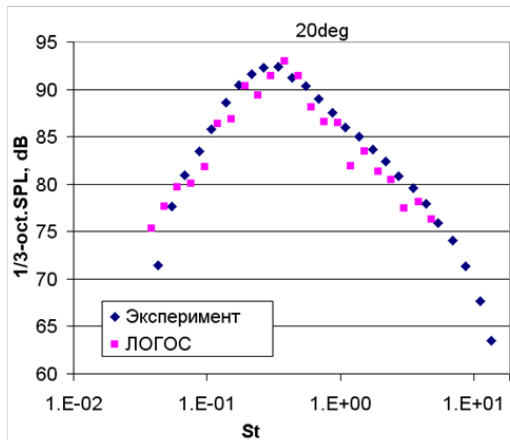
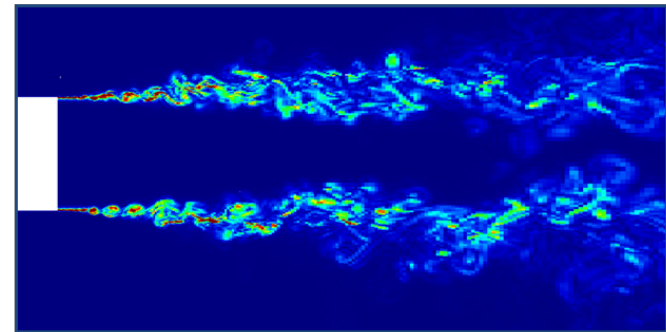
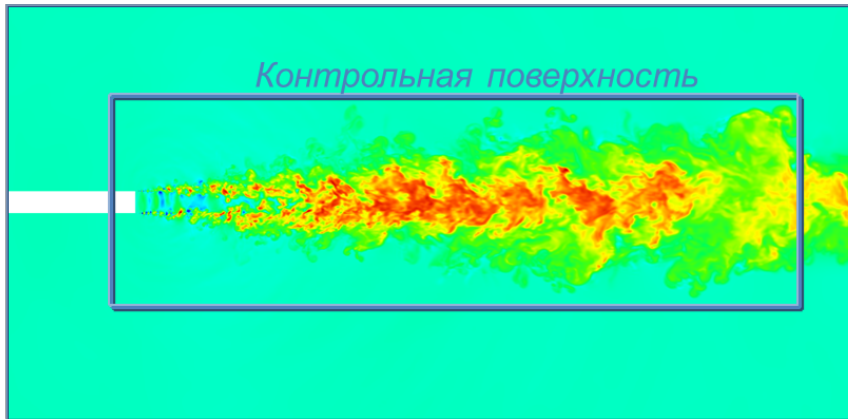
Акустическая аналогия Фокса Вильямса-
Хокинга (FWH)



Система: Поверхность – Микрофон

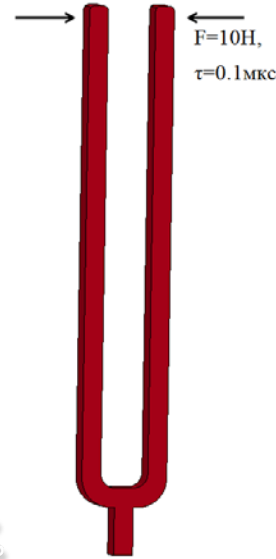
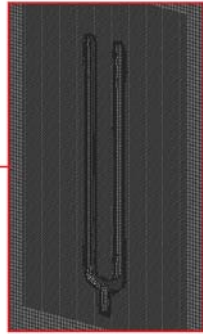
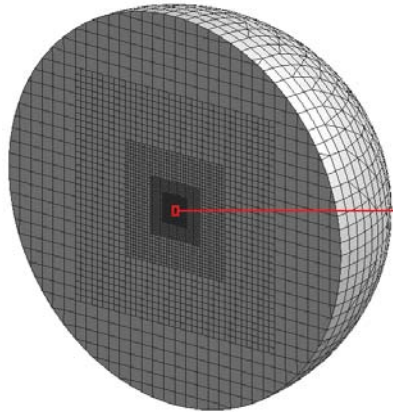
Шум струй двигателя и вибраоакустика

Истечение затопленной струи



Распределение 1/3 октавный спектр при различных углах наблюдения

Шум струй двигателя и вибраокустика

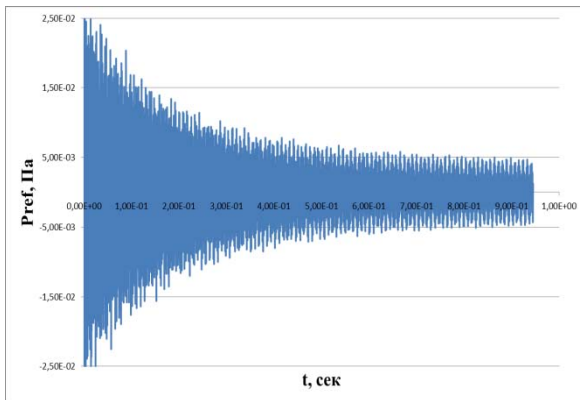


Упругий материал

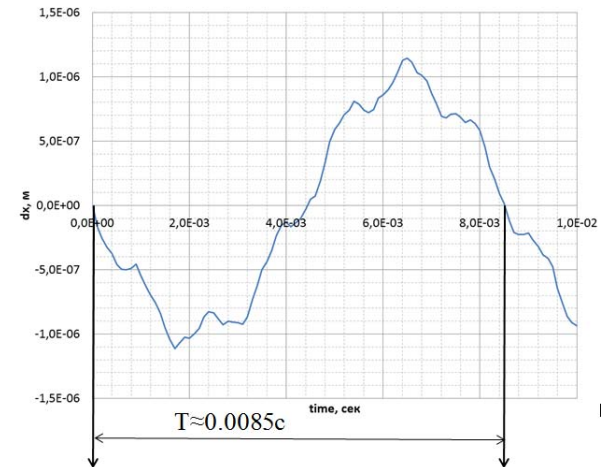
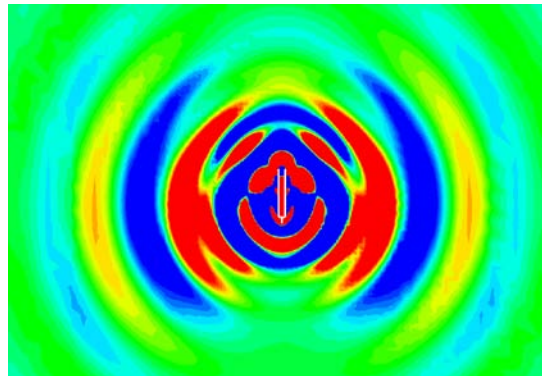
Плотность : $7800 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$;

Модуль упругости: 200ГПа;

Коэффициент Пуассона: 0.3

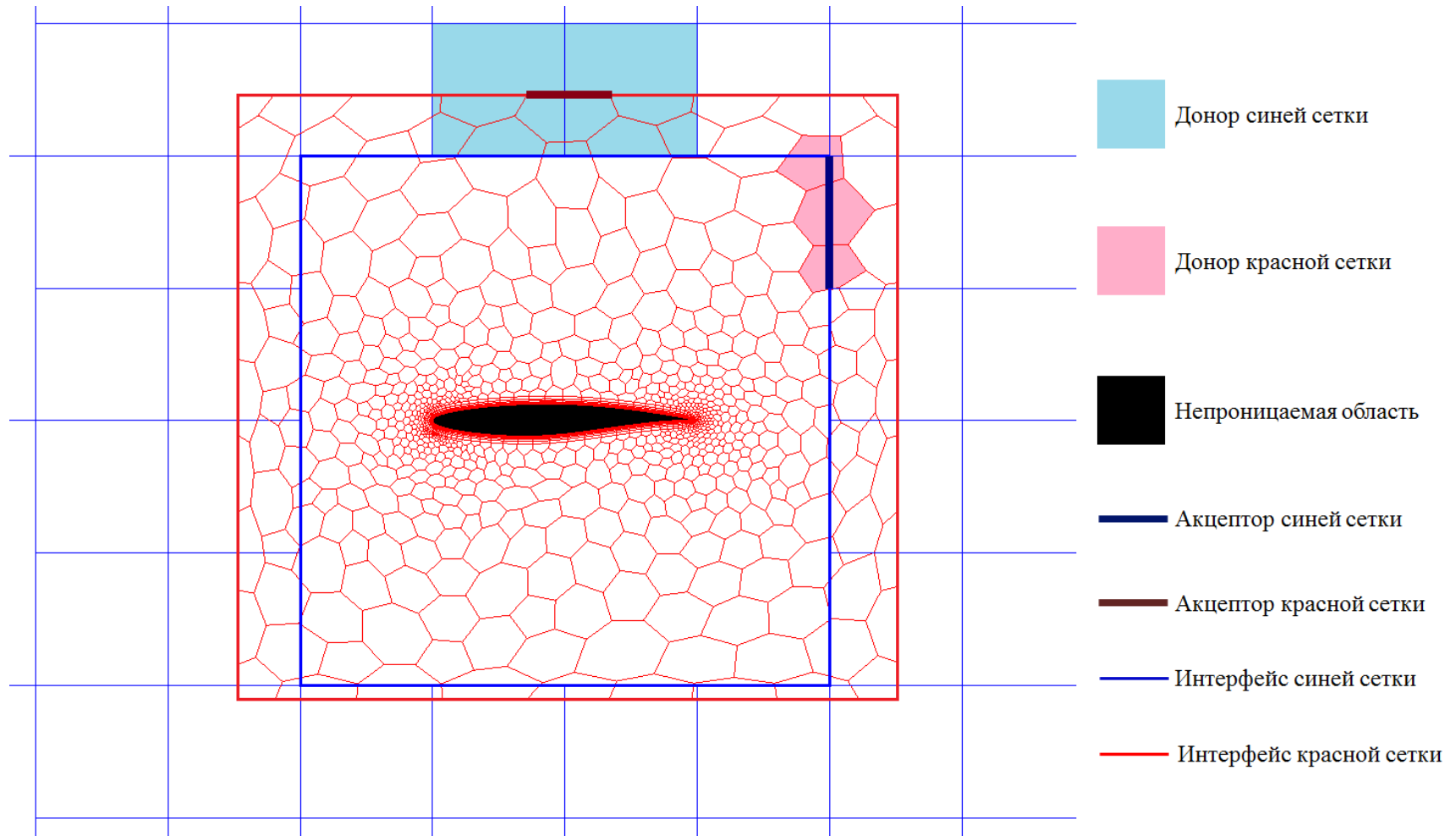


Пульсации давления
в точке наблюдения



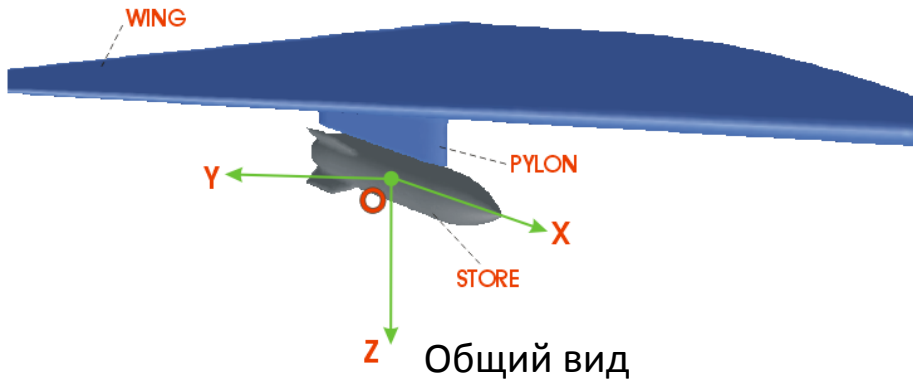
Амплитуда колебаний
камертона

Интерполяционный шаблон



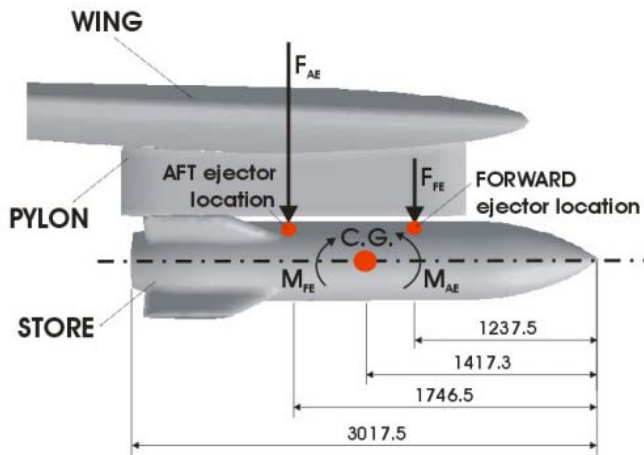
Активные ячейки вблизи профиля крыла

Тест AGARD23



Информация о задаче

- Нестационарный расчёт;
- Трансзвуковой режим ($M = 0.95$);
- Наличие силы тяжести;
- Учёт аэродинамических сил;
- Учёт воздействия катапульты;
- Шаг по времени $1.0e-3$ сек.
- Модель твёрдого тела.

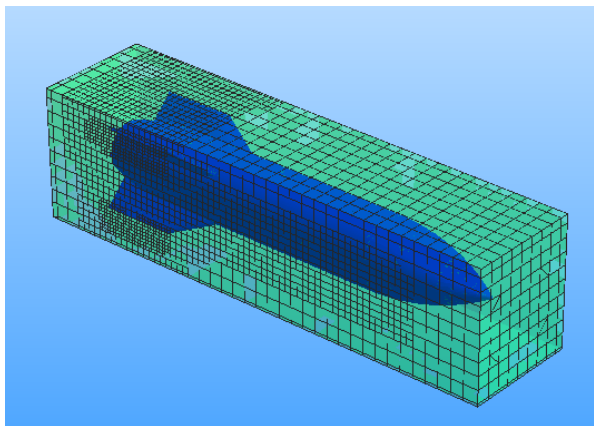


Пояснение

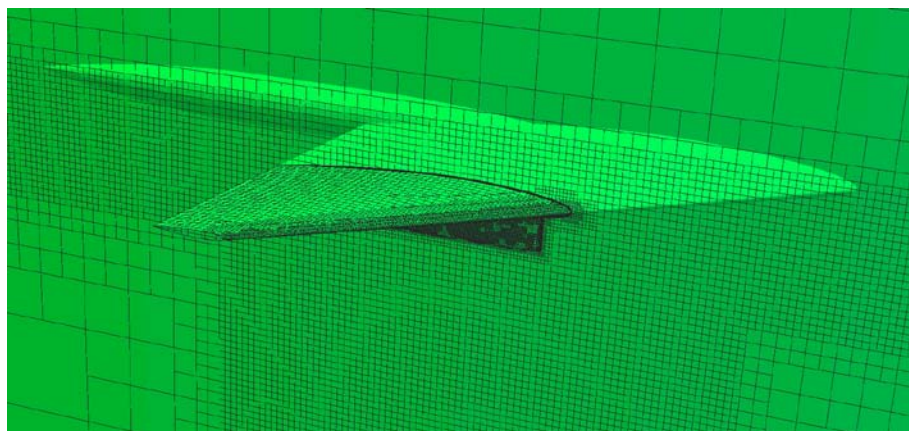
- Геометрические характеристики;
- Точки приложения внешних сил;
- Центр масс

Fox., J. H., 23. Generic Wing, Pylon, and Moving Finned Store, Verification and Validation Data for Computational Unsteady Aerodynamics, RTO-TR-26, October 2000, St. Joseph Ottawa/Hill, Canada

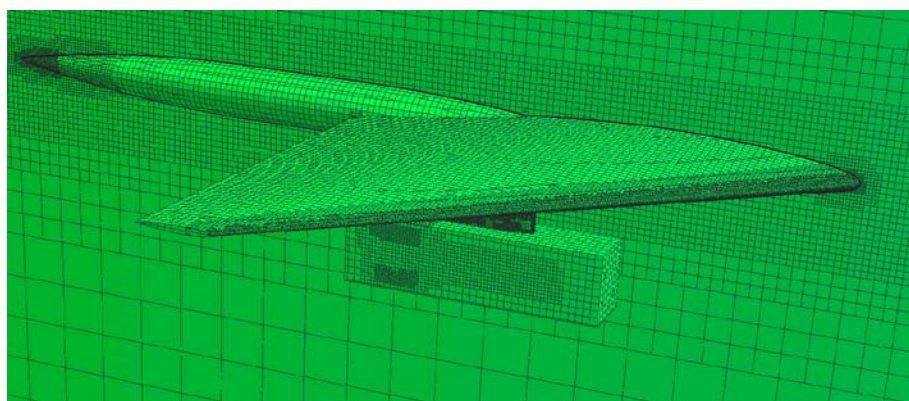
Сеточная модель



Сетка объекта



Сетка крыла

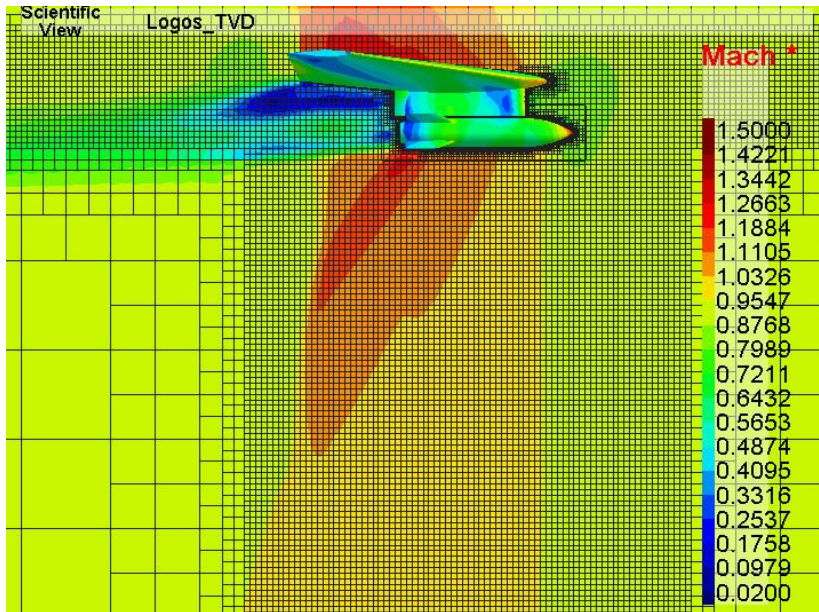


Объединённая сетка

Информация о расчёте

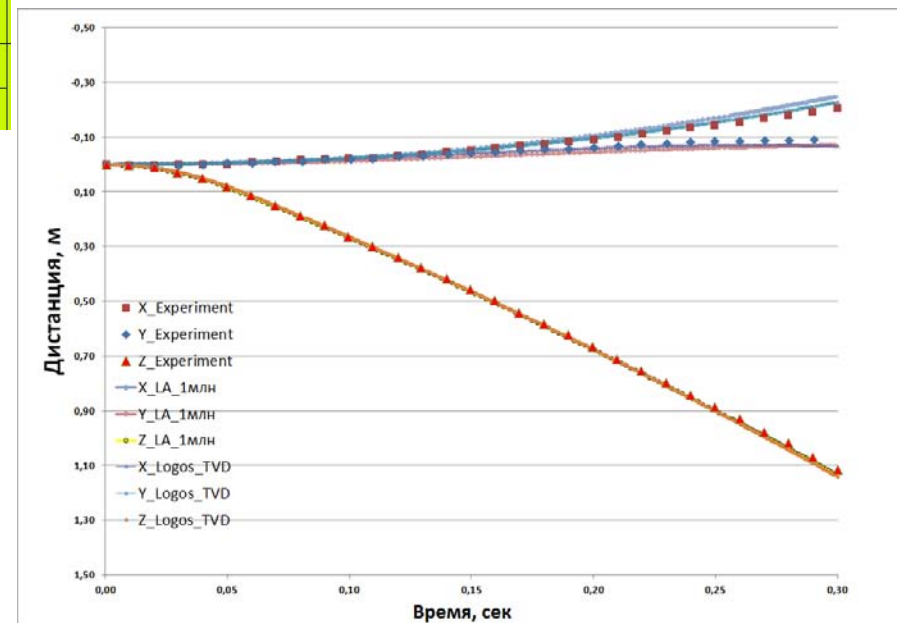
- Количество ячеек: ~2 млн.;
- Количество регионов: 2;
- Количество ядер: 60;
- Время счёта: 1 ч.

Анализ результатов



Процесс падения груза

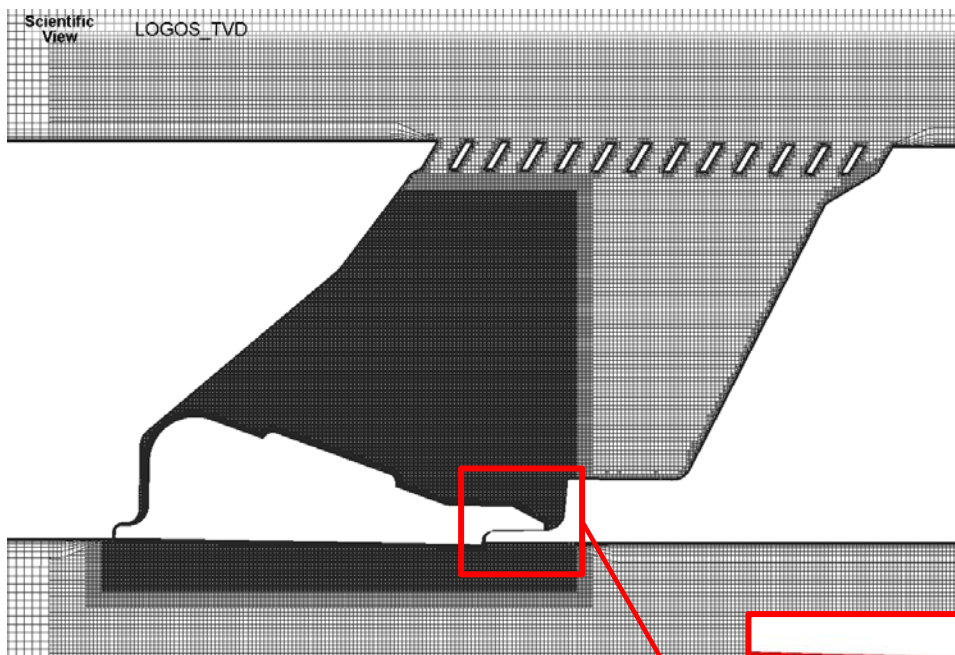
График изменения положения центра масс



Дополнительная информация

- Проводились расчёты на сходимость по сетке: 1.1 млн. и 24 млн. ячеек;
- Проводились расчёты на сходимость по времени.

Створка подпитки воздухозаборника



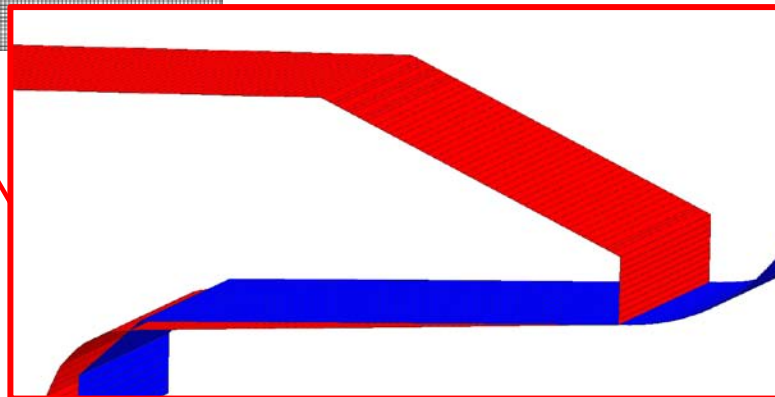
Расчётная сетка

Информация о задаче

- Количество ячеек: 230 тыс.;
- Нестационарный расчёт;
- Модель твёрдого тела.

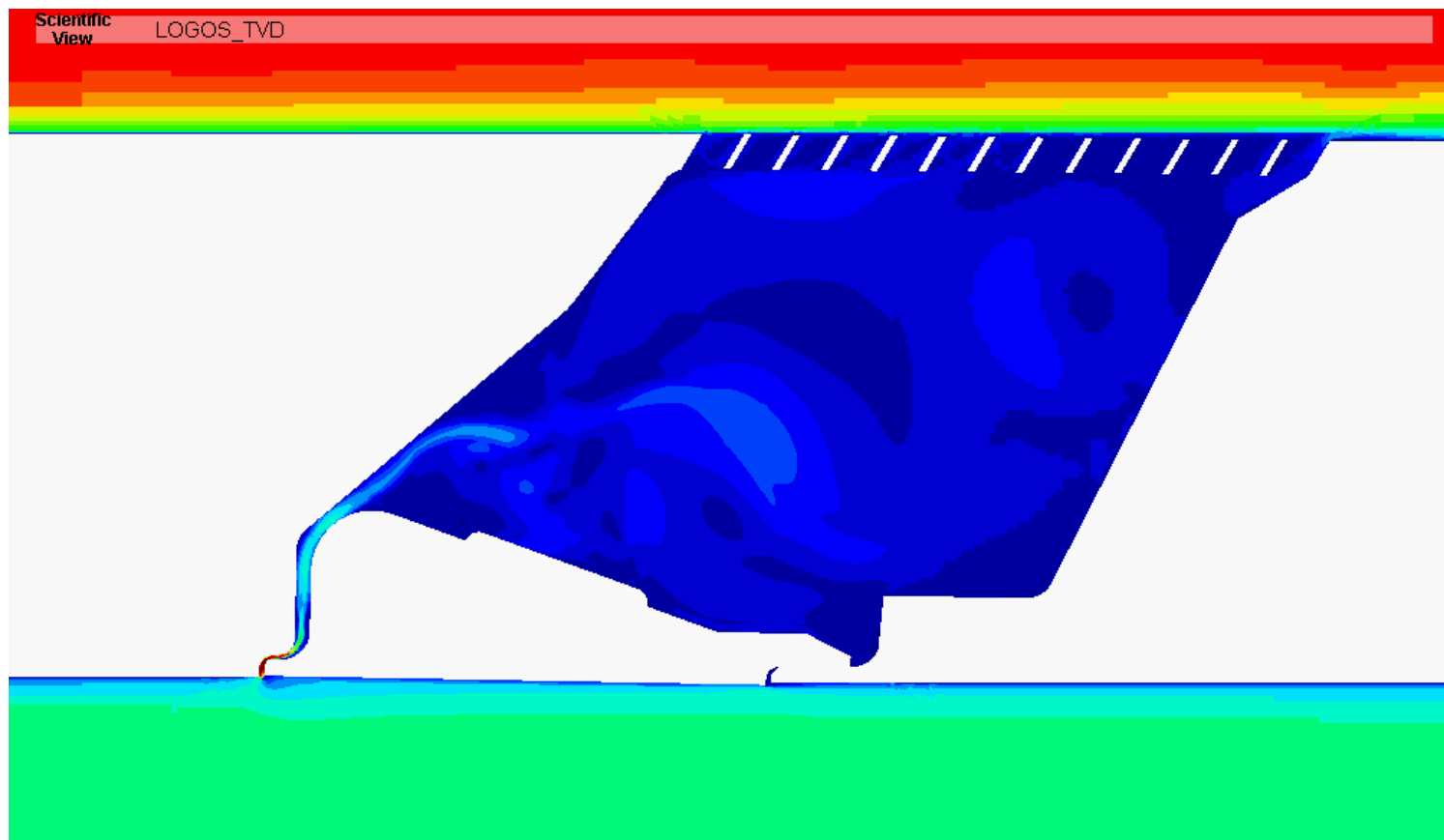
Информация о расчёте

- Шаг по времени $1.0e-4$ сек.;
- Второй порядок точности по пространству;
- Метод интерполяции: IDW.



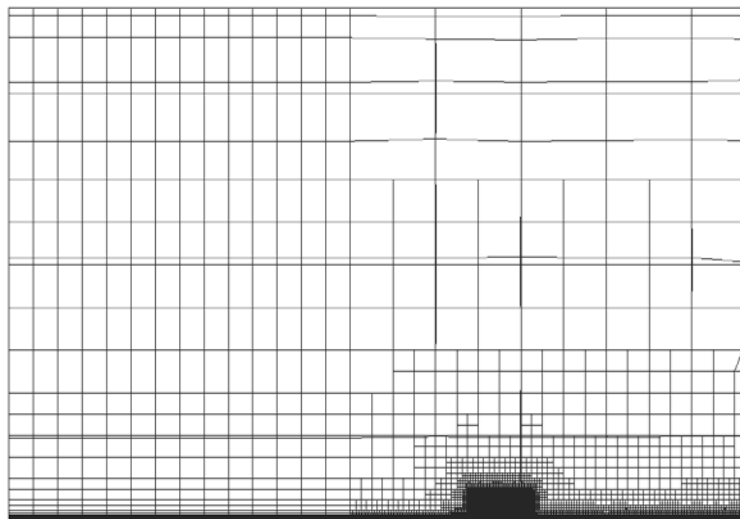


Результат моделирования



Распределение числа Маха

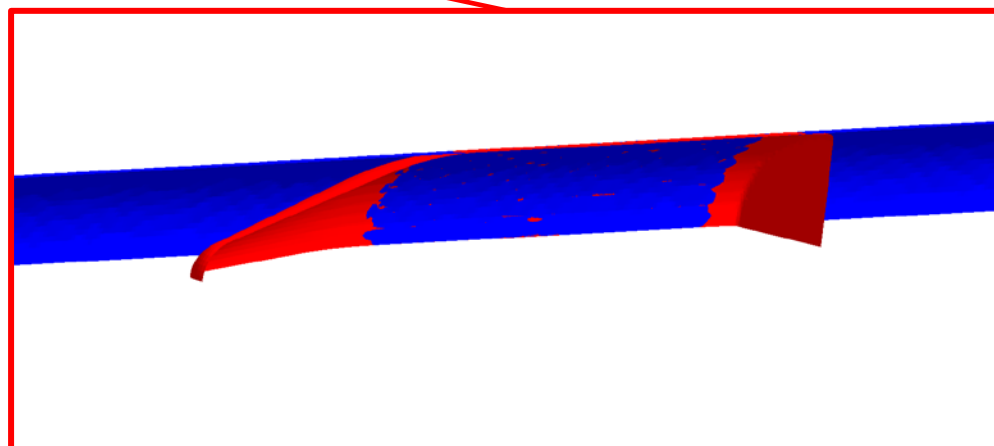
Скольжение пули по каналу ствола



Расчётная сетка

Информация о задаче

- 3.2 млн. ячеек;
- Нестационарный расчёт;
- Многокомпонентное течение;
- Модель твёрдого тела;
- Зазоры между стенками отсутствуют.



Результат моделирования



Распределение числа Маха



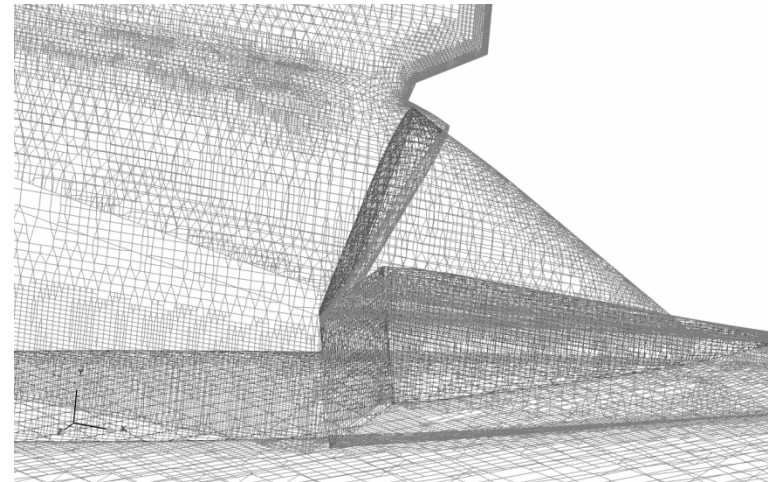
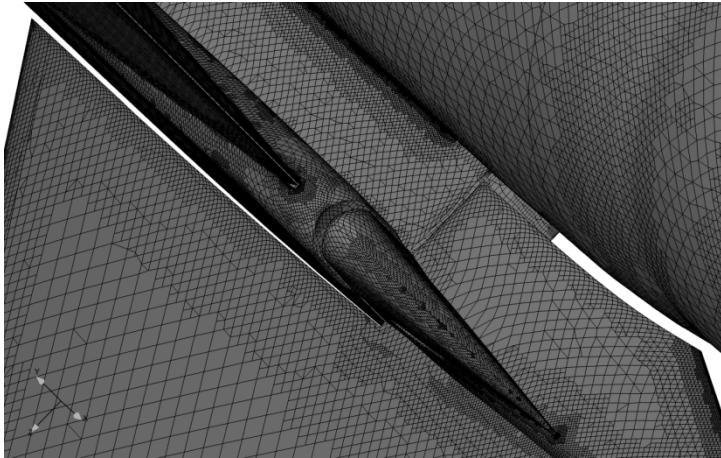
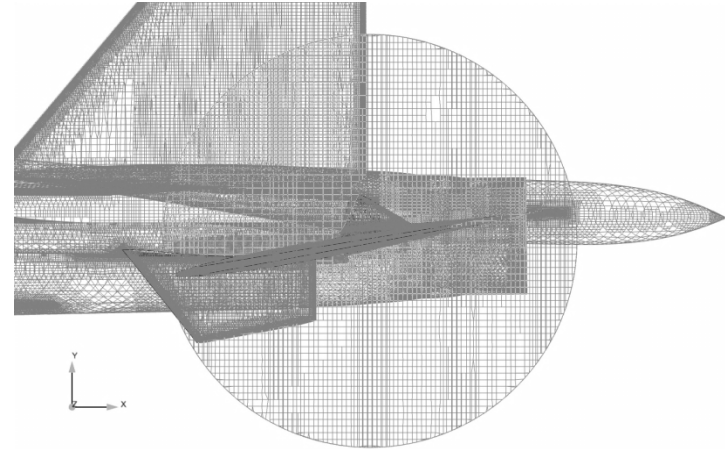
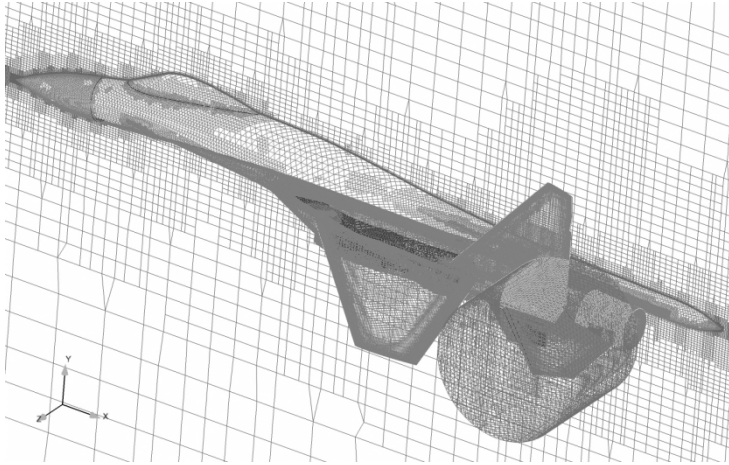
Распределение концентрации пороховых газов

Информация о расчёте

- 120 ядер;
- Время расчёта 18 часов;
- Шаг по времени $1.0e-6$ сек.;
- Метод расчёта потоков AUSMPW;
- Второй порядок точности по пространству;
- Модель турбулентности SA;
- Скорость пули ~ 2 Маха;
- Давление пороховых газов 280 МПа;
- Температура пороховых газов 2800 К;
- Метод интерполяции: TLI;
- Накладные расходы «Химеры» $< 3\%$ к общему времени расчёта.

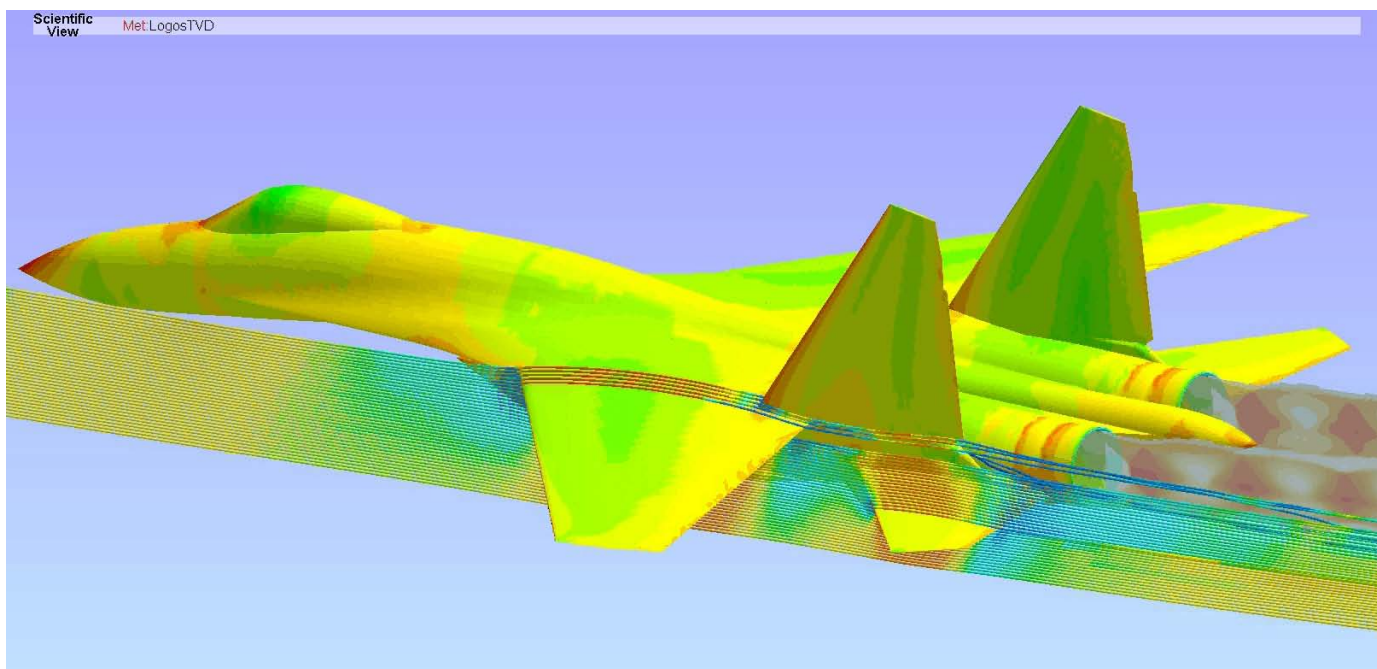


Подвижные органы управления



Механизация хвостового оперения

Анализ результатов



Распределение поля давления

Информация о задаче

- Нестационарный расчёт;
- Трансзвуковой режим ($M = 0.8$);
- Угол отклонения хвостового оперения 10° ;
- Модель турбулентности SA.

Информация о расчёте

- Количество ячеек: ~ 24 млн.;
- Количество регионов: 2;
- Количество ядер: 240;
- Время счёта: 12 ч.

Функционал 2018 года, поставляемый на предприятия

1. Функциональный блок для моделирования ламинарно-турбулентного перехода на неструктурированных расчетных сетках
2. Функциональный блок для моделирования перфорированной стенки в рамках доработки модели пористого тела
3. Функциональный блок для моделирования распространения ударных волн от взрыва взрывчатого вещества
4. Функциональный блок подготовки данных для перестроения расчетной сетки средствами ЛОГОС-ПП в зависимости от особенностей решения
5. Функциональный блок для моделирования образования инея.
6. Функциональный блок для моделирования эрозии и абляции.
7. Функциональный блок моделирования течений в турбовинтовых установках.
8. Функциональный блок для расчета влажности с учетом испарения и конденсации.

Функционал 2018 года, поставляемый на предприятия

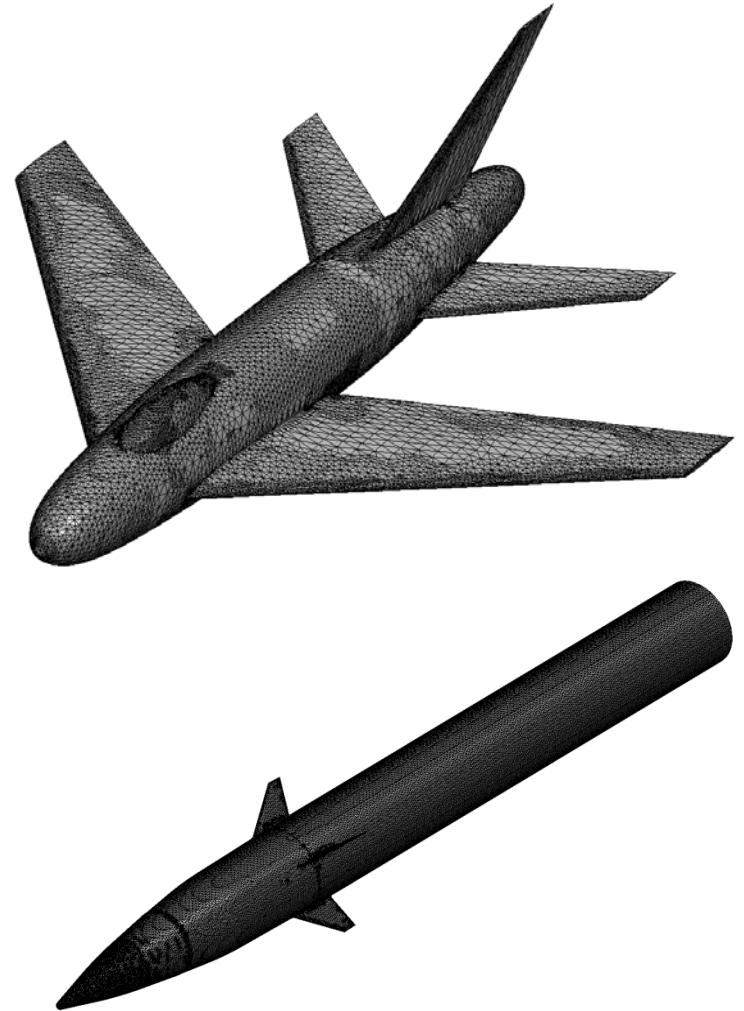
- 9. Функциональный блок для моделирования кавитирующих течений на основе гомогенного приближения.**
- 10. Функциональный блок для моделирования течения частиц к-фазы в газовой струе и эрозионного воздействия**
- 11. Функциональный блок моделирования впрыска жидкости в сверхзвуковой поток.**
- 12. Функциональный блок для расчета локальных источников массы, импульса и энергии, задаваемых пользователем.**
- 13. Функциональный блок расчёта фазового перехода методом подвижного фронта.**
- 14. Функциональный блок расчёта сопряжённого теплообмена системы подвижных тел.**
- 15. Функциональный блок для моделирования гидродинамических течений со свободной поверхностью на подвижных сетках.**

Модуль генерации замкнутой поверхностной триангуляционной сетки (Враппер)

Модуль генерации замкнутой поверхностной триангуляционной сетки является средством автоматической генерации корректных, замкнутых поверхностных сеток по исходной геометрии в фасеточном представлении, содержащей различные дефекты и несогласованности в виде зазоров, пересечений, наложений треугольников и т.д.

Основные этапы работы модуля ЗПТС:

- Анализ исходной геометрии и формирование набора характерных линий.
- Формирование начальной внешней оболочки методом построения адаптивной декартовой объемной сетки;
- Извлечение поверхностной сетки из граней поверхностных ячеек объемной сетки;
- Проецирование точек поверхностной сетки на поверхность исходной геометрической модели с учетом характерных особенностей исходной геометрии;
- Оптимизация полученной поверхностной сетки.

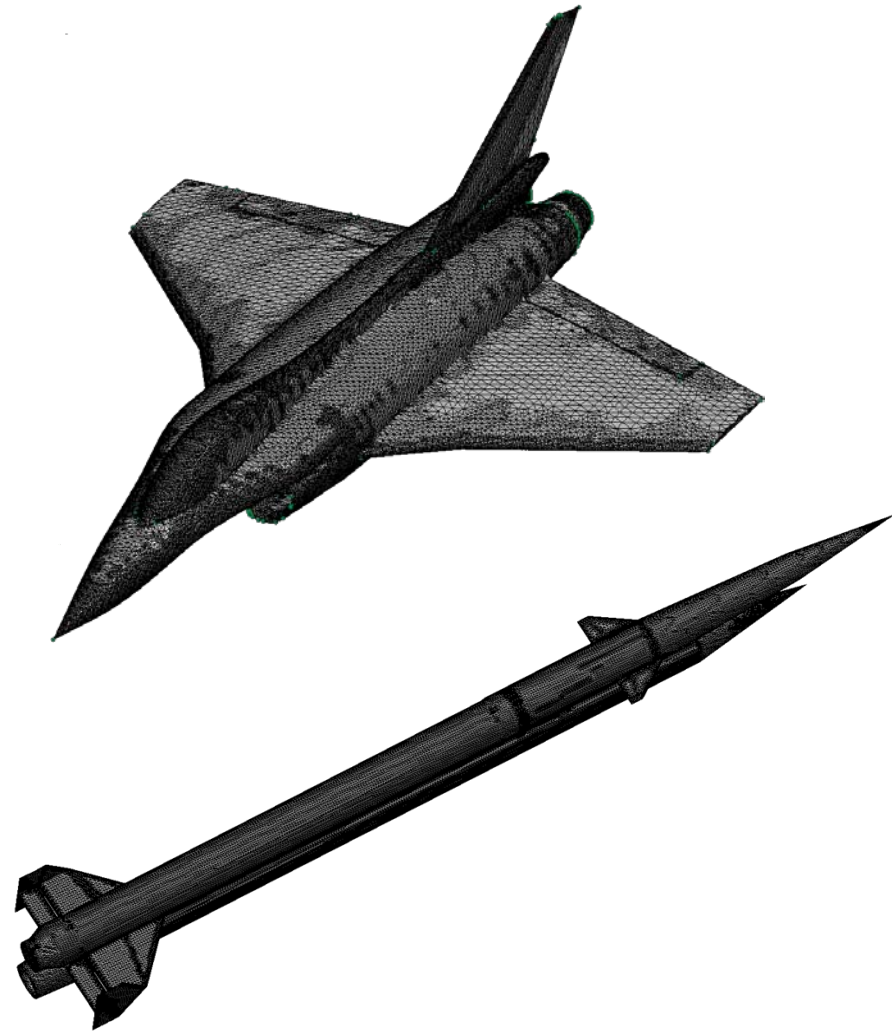


Модуль генерации замкнутой поверхностной триангуляционной сетки (Враппер)

Выпущена первая версия программы, и ведутся работы по подключению модуля генерации ЗПТС к пакету программ «ЛОГОС.ПРЕПОСТ».

Планируемые работы по усовершенствованию генератора ЗПТС:

- Необходима доработка генератора по результатам апробации на производственных задачах аэрогидродинамики (учет характерных особенностей сложных геометрий, учет уровня детализации конструкций и т.д.)
- Необходима оптимизация и доработка генератора с целью увеличения производительности некоторых блоков программы, а так же с целью уменьшения объема используемой оперативной памяти.



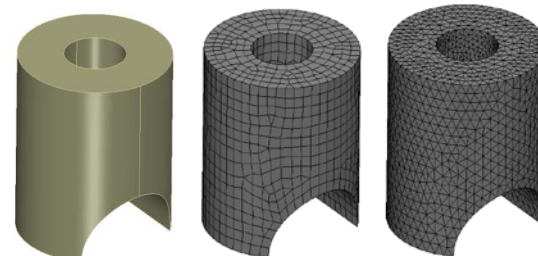
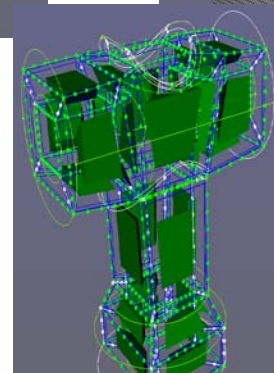
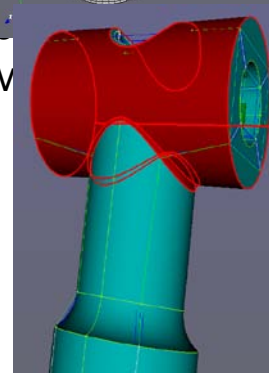
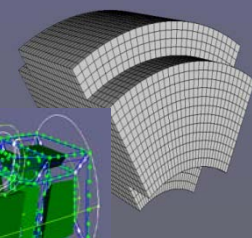
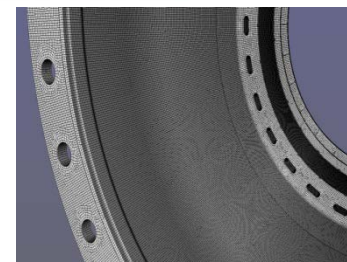
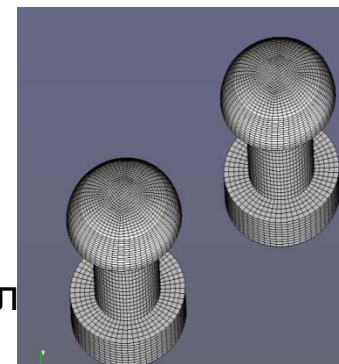
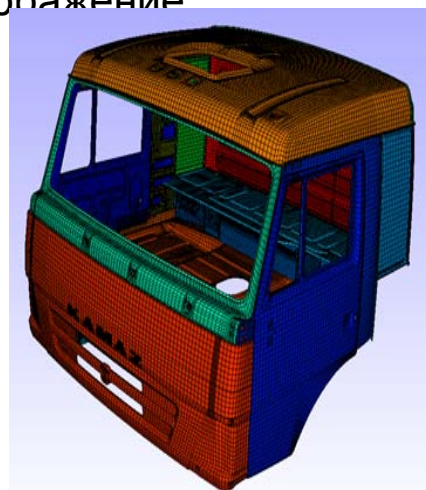
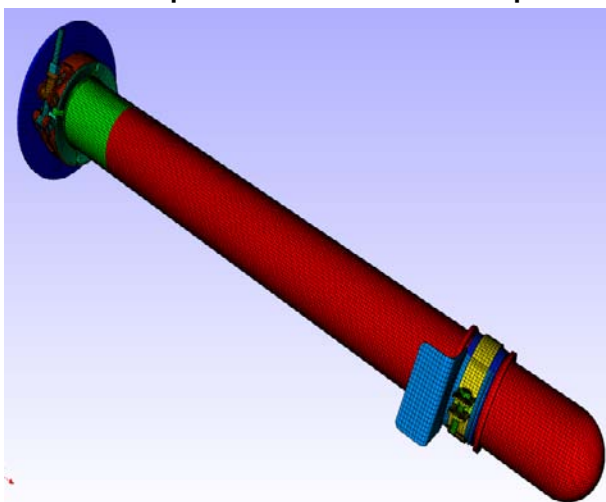
Назначение: обеспечение решателей пакета ЛОГОС (прочность, тепломассоперенос, аэрогидромеханики)

- средствами работы с геометрическими моделями;
- средствами подготовки сеточных моделей посредством различных генераторов сеток;
- средствами задания математической модели (вещества, граничные условия и т.д), параметров моделирования;
- возможностями запуска и мониторинга за состоянием счета;
- возможностями визуализации и постобработки

ПОДГОТОВКА СЕТОЧНЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ТРЕХМЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ЗАДАЧ ПРОЧНОСТНОГО АНАЛИЗА

2010-2016 г.

- Генератор блочно-регулярных сеток
- Генератор неструктурированных сеток
 - Тетраэдрная сетка
 - Преимущественно шестигранная сетка
 - Поверхностная триангуляционная сетка
 - Поверхностная преимущественно четырехугольная сетка
 - Шестигранная сетка разбиением тетраэдрной сетки
- Генератор методом экструзии, операции над сетками: перемещение, копирование, масштабирование, отображение



ПОДГОТОВКА СЕТОЧНЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ТРЕХМЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ЗАДАЧ ПРОЧНОСТНОГО АНАЛИЗА

Ключевые результаты 2016-2017гг

Обработка геометрий

- Разрезание тел/граней/ребер
- Создание 3D тел
- Булевы операции

Генерация сеток

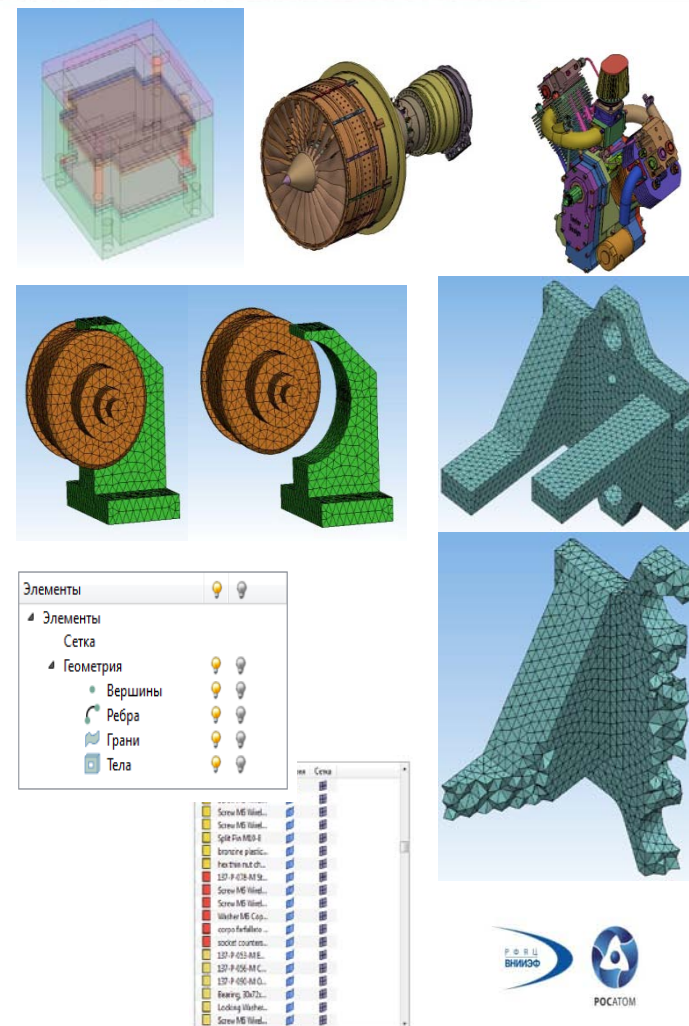
- Анализ и предустановка оптимального генератора и его параметров
- Генераторы 1D/2D/3D неструктурированных сеток (балочные элементы, триангуляция, регулярные, преимущественно четырехугольные, тетраэдрные и преимущественно шестигранные сетки)
- Генерация сеток протягиванием
- Прямые операции генерации

Подсистема визуализации

- Интерактивный отбор
- Выборочная визуализация
- Режимы отображения, включая частичную прозрачность

Работа со структурой модели

- Менеджер компонент
- Управление видимостью геометрических элементов
- Менеджер групп
- Менеджер контактов



ПОДГОТОВКА СЕТОЧНЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ТРЕХМЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ЗАДАЧ ПРОЧНОСТНОГО АНАЛИЗА

Перспективы развития

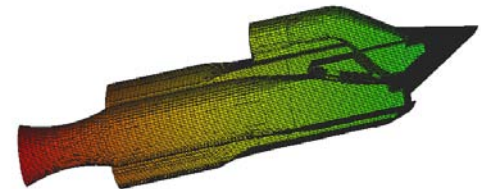
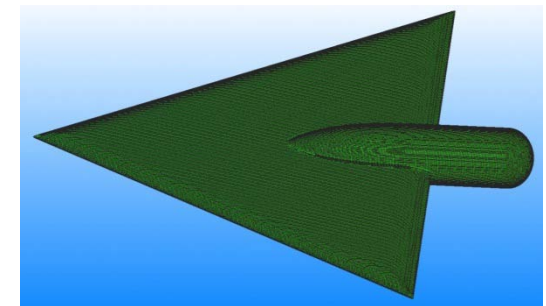
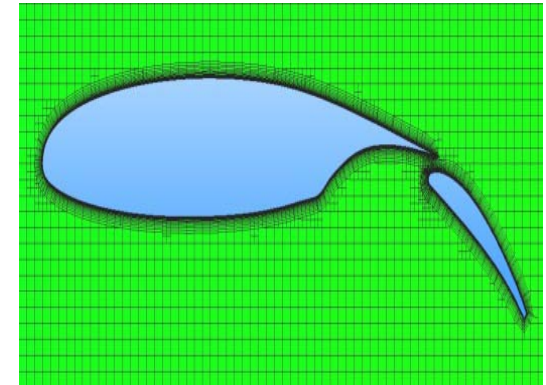
- **Работы с геометрическими моделями:**
 - Унификация средств работы с геометриями для моделей прочности и CFD
 - Диагностика геометрических моделей
 - Редактор эскизов
 - Новые операции редактирования
- **Расширение операций генерации сеток**
 - Ручные
 - Расширенные средства генерации сеток протягиванием
 - Повышение качества генерируемых сеток
- **Макроязык**
- **Откат операций**

ПОДГОТОВКА СЕТОЧНЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ТРЕХМЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ЗАДАЧ АЭРОГИДРОМЕХАНИКИ

2010-2016 г.

2010-2016 г.

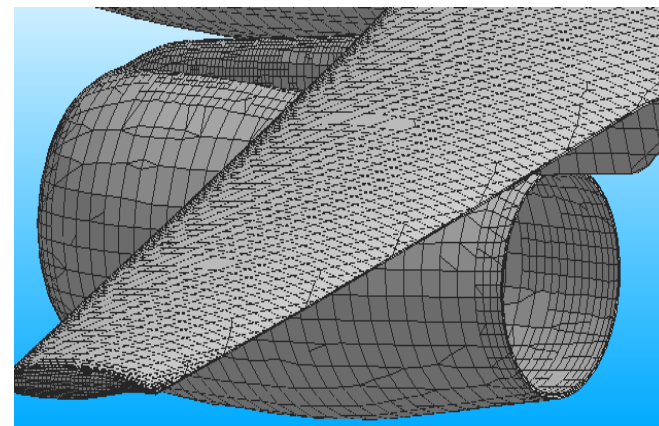
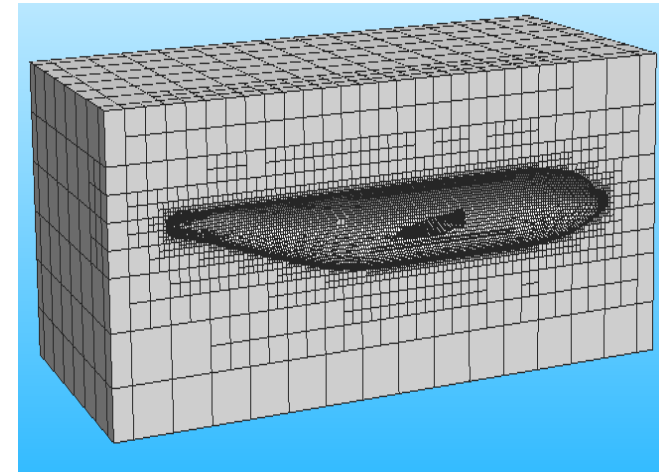
- **Базовый набор средств:**
 - Импорт и обработка геометрической модели;
 - Поверхностная триангуляция;
 - Объемная многогранная сетка методом отсечения;
- **Существенные трудозатраты при подготовке;**
- **Реализован сквозной цикл подготовки сеточной модели;**
- **Улучшенное качество сеток;**
- **Возможность подготовки сеточных моделей для отдельных элементов конструкций.**



ПОДГОТОВКА СЕТОЧНЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ТРЕХМЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ЗАДАЧ АЭРОГИДРОМЕХАНИКИ

Ключевые результаты 2017г.

- Повышение эргономики подготовки геометрической модели;
- Новые возможности по анализу качества геометрической модели;
- Диагностика и лечение триангуляции;
- Унифицированное задание параметров сетки на поверхности для триангуляции и объемных сеток;
- Автоматический поиск и локальное перестроение областей с треугольниками низкого качества на гранях в поверхностном генераторе по аналитике;
- Улучшенный учет прогиба при генерации сетки на поверхностях;
- Новый режим построения сетки с заданными размерами для различных границ в объемном генераторе;
- Улучшенное качество сеток;
- Оптимизация скорости работы генераторов;
- Возможность подготовки сеточных моделей для компоновок ЛА.

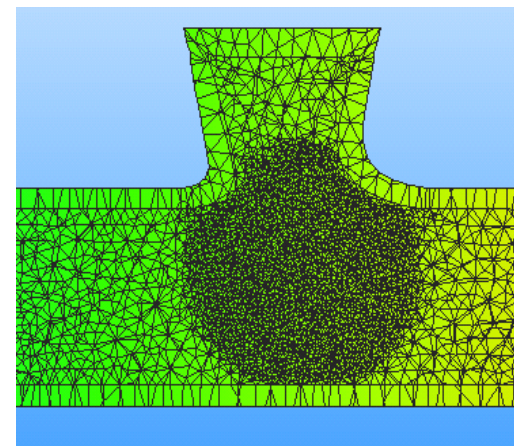


ПОДГОТОВКА СЕТОЧНЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ТРЕХМЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ЗАДАЧ АЭРОГИДРОМЕХАНИКИ

Перспективы развития

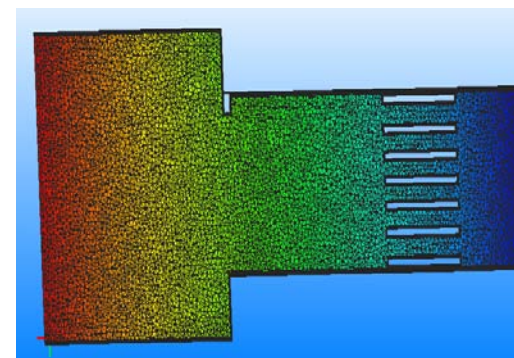
2018 г.

- Построение сеточных моделей для трехмерного моделирования задач внутренней гидродинамики с возможностью выбора структуры сеточного ядра (тетраэдры или адаптивные ячейки с отсечением).
- Развитие возможностей редактирования геометрических моделей при подготовке инженерных расчетов задач.
- Генерация поверхностных сеток методом вакуумной оболочки при подготовке задач.



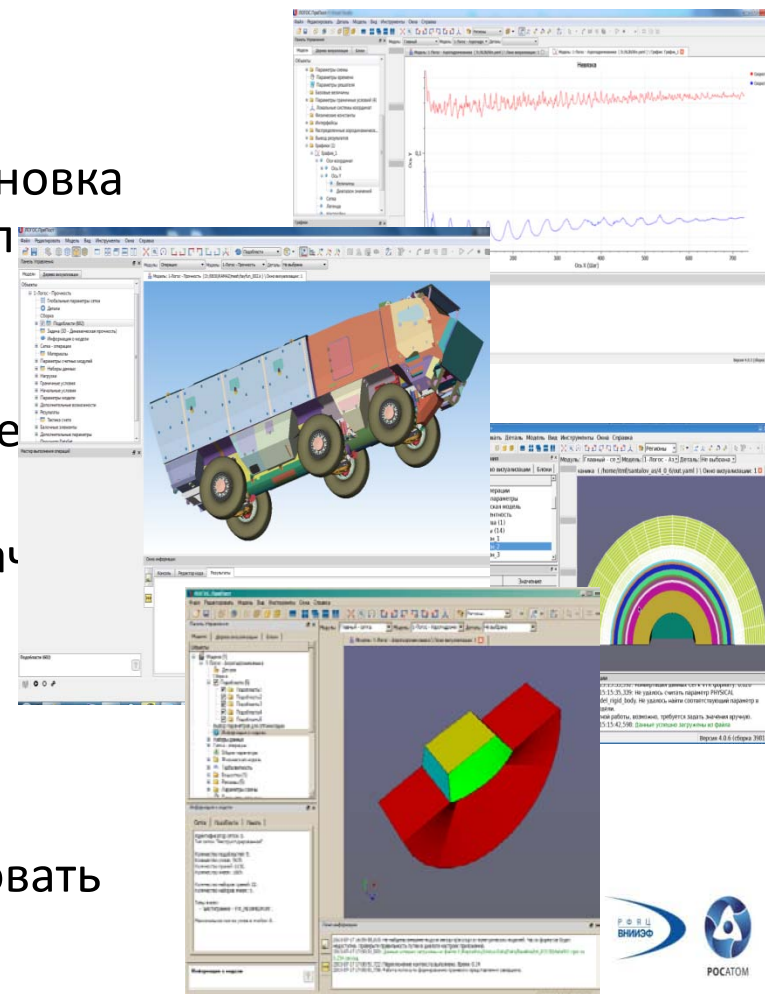
2019 г.

- Перестройка модели для адаптации (сгущения/разрежения) на поверхности и в объеме для трехмерного моделирования задач.
- Построения сеточных моделей для моделирования с помощью средств макроязыка.



ПОДГОТОВКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ, УПРАВЛЕНИЕ СЧЕТОМ 2010-2016 г.

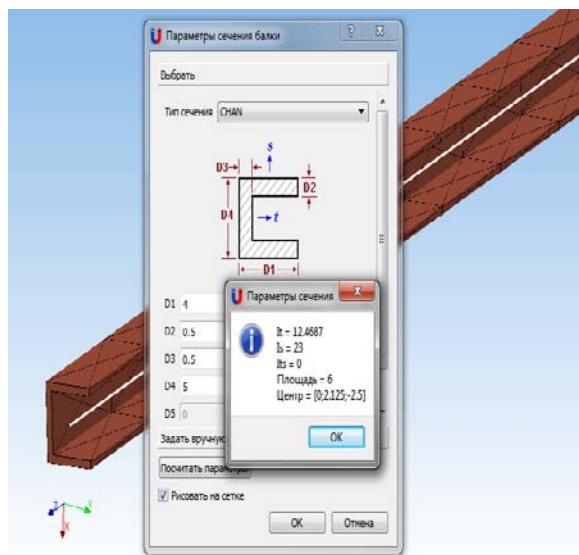
- Интерактивный режим, максимальная унификация для разных решателей;
- Задание исходных данных задачи: постановка задачи, подготовка и визуализация начальных граничных условий;
- Указание свойств материала;
- Расстановка сил, нагрузок, участков нагрева т.д.;
- Возможность подготовки связанных задач;
- Средства запуска задачи на счет и контроля за ходом вычислений;
- Настраиваемый графический интерфейс пользователя
- Макроязык, позволяющий автоматизировать сценарии подготовки расчетной модели;



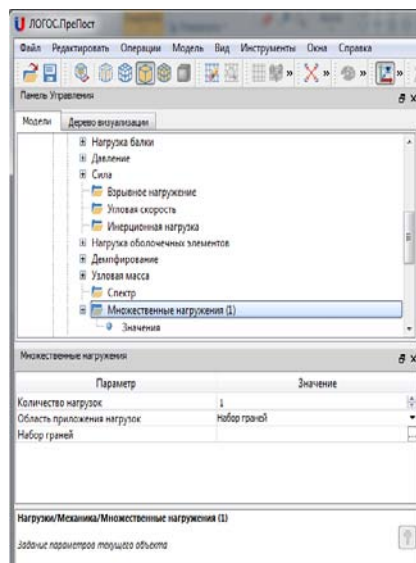
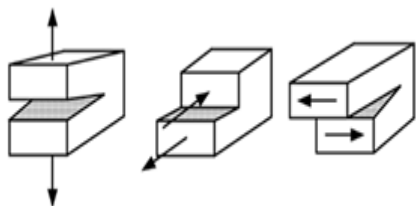
ПОДГОТОВКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ, УПРАВЛЕНИЕ СЧЕТОМ

Ключевые результаты 2017г.

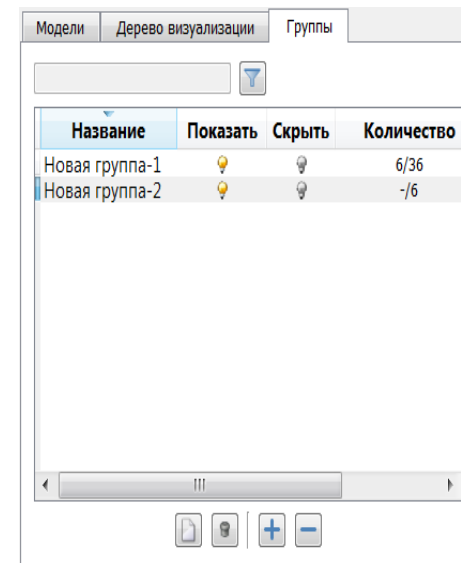
Разработан и реализован следующий функционал:



Возможность задания параметров работы с балочными элементами



Задание многих случаев нагружения конструкции и одновременного расчета множественных нагрузок



Поддержка фрагментации математической модели

Алгоритмы задания свойств когезионных элементов и свойств $vcst$ элементов и критериев разрушения

ПОДГОТОВКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ, УПРАВЛЕНИЕ СЧЕТОМ

Перспективы развития



- Разработка средств задания параметров композиционных материалов;
- Реализация блока импорта из текстового файла информации о нагружении модели;
- Разработка и реализация средств конфигурирования системы запуска задач на удаленной машине;
- Развитие возможностей по диагностике и редактированию сетки;
- Реализация алгоритма огрубления визуализируемой стеки без потери качества.

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ И ПОСТОБРАБОТКА

2010-2016 г.



Обработка данных в параллельном режиме

Типы данных:

- регулярные (со смешанными или адаптивными ячейками)
- нерегулярные (конечные элементы, многогранники)
- частицы, молекулы, кластеры
- форматы EFR, d3Plot, nGeom, Cgns, VTK

Представление данных:

- отображение в виде полигонов, сетки, узлов сетки, каркаса
- цветовая интерпретация сеточных полей
- прозрачность

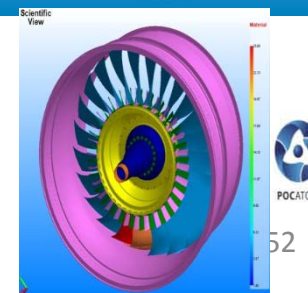
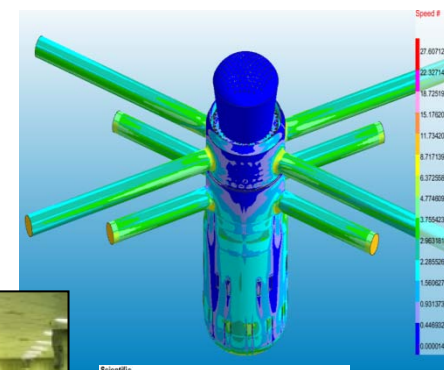
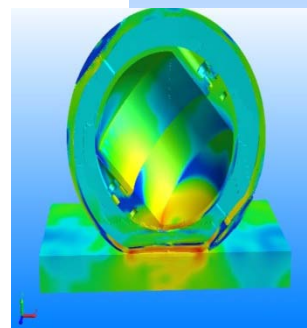
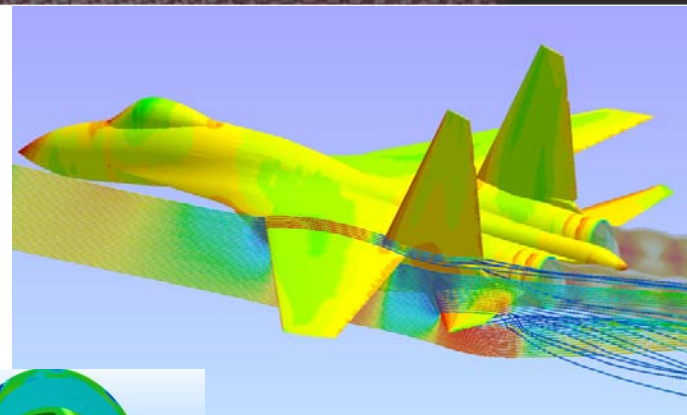
Средства анализа:

- графическая обработка (более 50 фильтров – сечения, вырезы, изоповерхности/изолинии, линии тока и др.)
- числовая обработка (табличное представление, калькуляция величин, вычисление интегральных характеристик, построение графиков)

Макроязык (в т.ч. протоколирование, «скриптинг»)

Объем обрабатываемых данных:

- до нескольких десятков миллиардов регулярных ячеек
- миллиарды нерегулярных ячеек

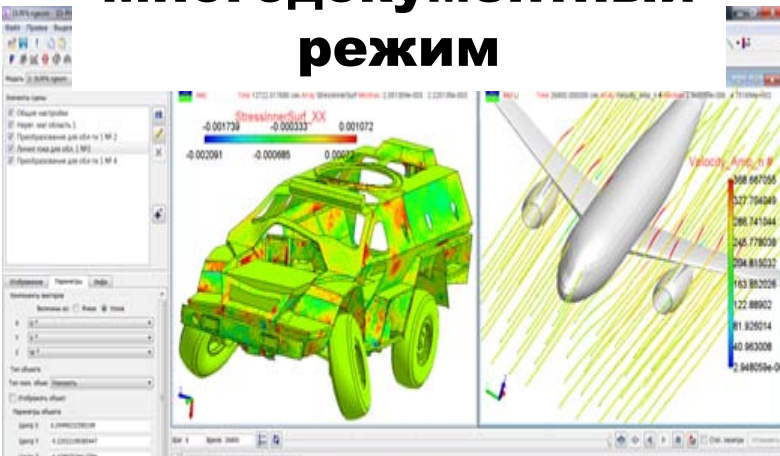


ВИЗУАЛИЗАЦИЯ И ПОСТОБРАБОТКА

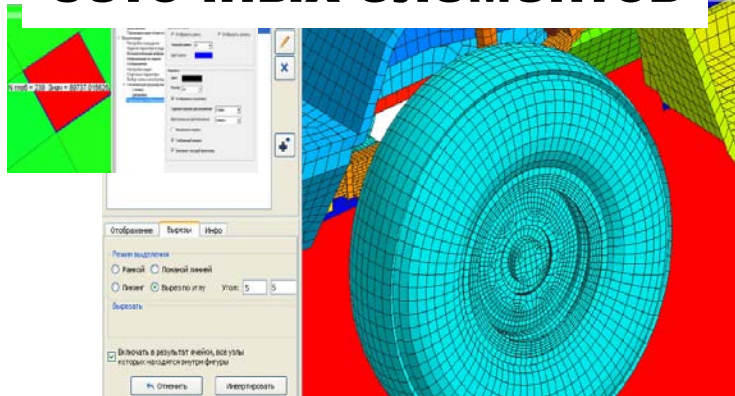
Ключевые результаты 2017г.



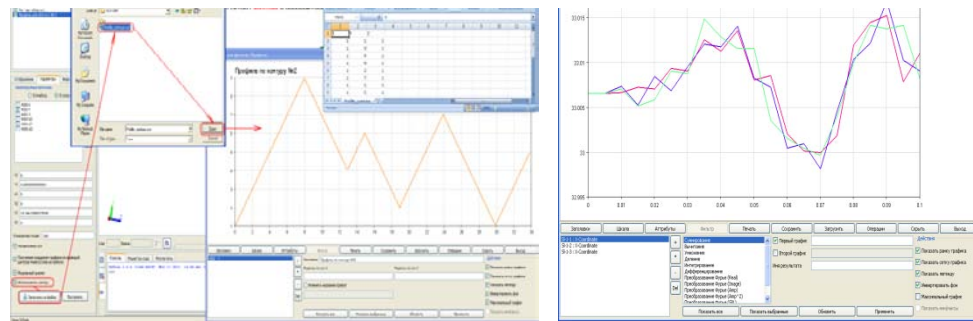
Многодокументный режим



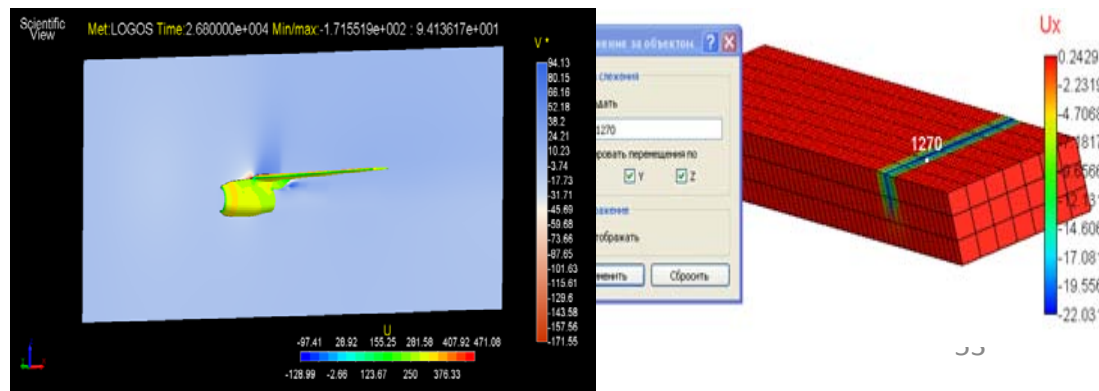
Новые возможности отбора сеточных элементов



Новая подсистема обработки графиков



Дополнительные сервисные возможности



2018г:

- Развитие средств отображения результатов совместного моделирования прочности и кинематики
- Отображение результатов моделирования в полупрозрачном виде при постобработке в многопроцессорном режиме
- Учёт особенностей (граневых массивов) при постобработке результатов моделирования задач тепломассопереноса
- Расчёт дополнительных сеточных и интегральных характеристик при обработке результатов моделирования задач прочности

2019г:

- Экспорт 3D-сцен с результатами постобработки
- Постобработка с использованием воксельной (объёмной) и стерео графики в режиме «клиент-сервер»
- Постобработка результатов моделирования с продвинутыми возможностями по управлению камерой в 3D-сцене

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ