Многофункциональный пакет программ ЛОГОС для расчета задач аэро-гидродинамики и тепломассопереноса на супер-ЭВМ

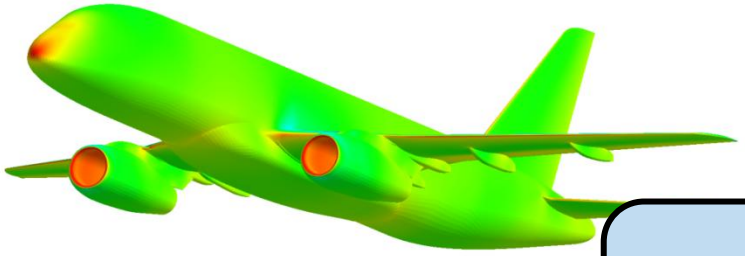
Москва МГУ 26-27 сентября

Дерюгин Юрий Николаевич

ИТМФ ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ

ЛОГОС

Аэро-Гидродинамика

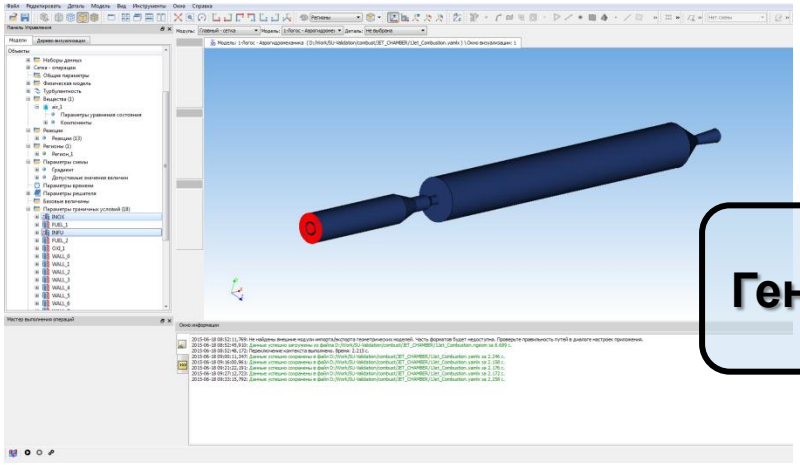


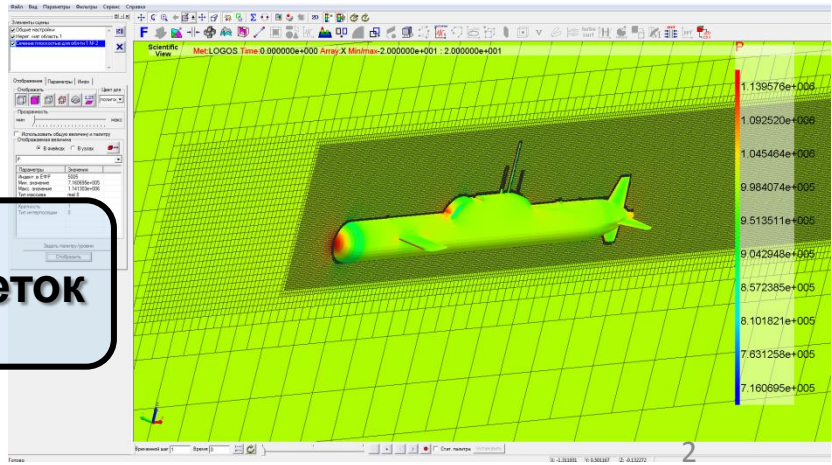
Прочность

Постановка задачи

Обработка результатов

Генераторы сеток



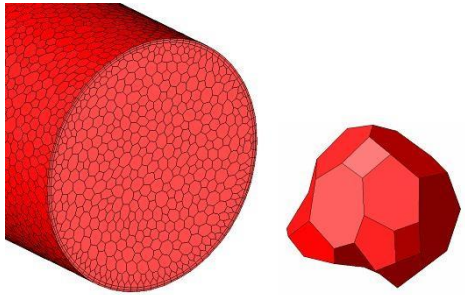


Программный пакет инженерного анализа

ЛОГОС-CFD

(Зарубежные аналоги: Star-CCM+, Ansys CFX, Fluent)

- **Гидродинамика и аэродинамика**
- **Турбулентные течения**
- **Тепломассоперенос**
- **Течения в пористых средах**
- **Аэромеханика и акустика**
- **Тепловое и радиационное излучение**
- **Многофазные течения**
- **Реагирующие потоки**

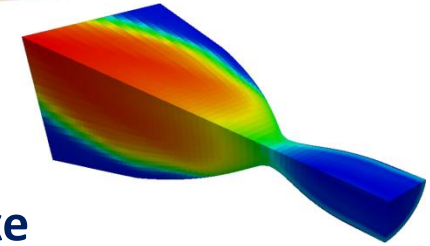


Решатели ЛОГОС-CFD

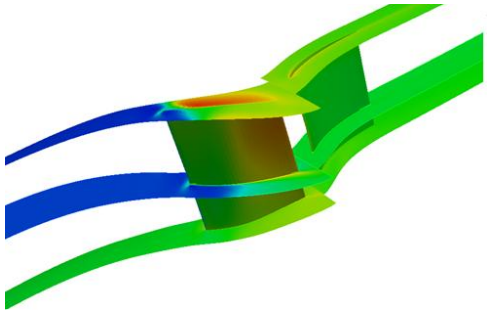
Ориентированы на неструктурированные сетки, состоящие из многогранников произвольной формы

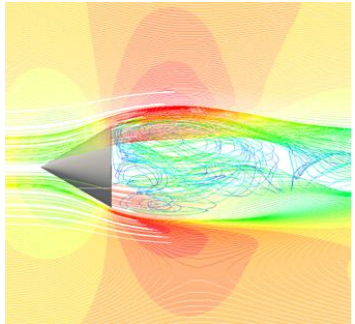
Программные модули	Моделируемые процессы	Классы решаемых задач
Аэродинамика	• Газодинамика • Аэродинамика • Акустика • Горение • Капельно-дисперсные среды	• Аэродинамика ЛА и РКТ • Воздухозаборники сопла • Турбомашины • Горение углеводородов
Гидродинамика	• Гидродинамика • Пористые среды • Несмешивающиеся жидкости • Многофазные течения	• Аэродинамика автомобилей • Течения теплоносителей в РУ • Свободные поверхности • Системы кондиционирования
Тепло в твердом теле	• Теплопроводность • Излучение • Фазовые переходы	• Системы терморегулирования • Безопасность боеприпасов • Тепловое состояние объектов • Сопряженный теплообмен

ЛОГОС
Аэродинамика

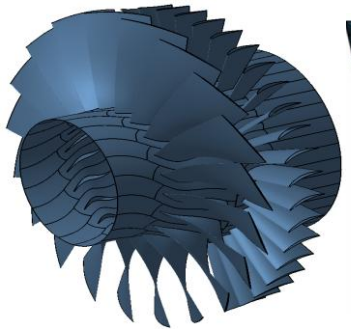


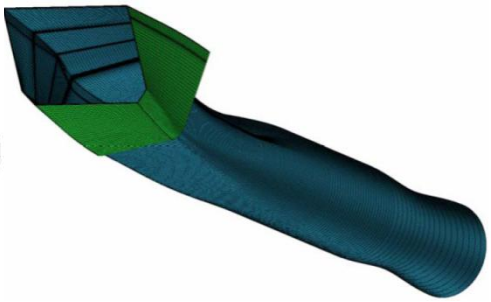
- Метод конечных объемов на неструктурированной сетке
- Явная, явно-неявная схемы в дельта-форме
- Вязкие, не вязкие, стационарно/нестационарные течения
- Многокомпонентные течения
- Совмещенный решатель (Coupled Solver)
- RANS модели турбулентности (k-e, SA, SST HIGH-LOW RE)
- LES, DES модели турбулентности (DDES, IDDES)
- Модель капельно-дисперсных сред
- Горение кислород-водородных и углеводородных смесей

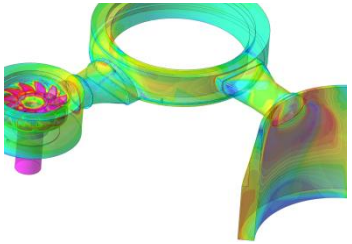




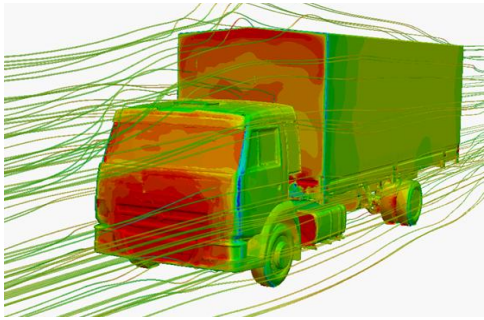
РОСАТОМ



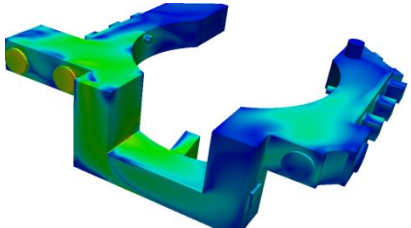




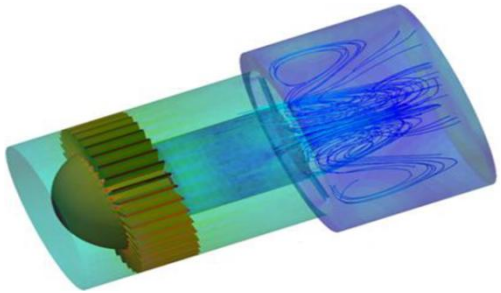
ЛОГОС
Гидродинамика



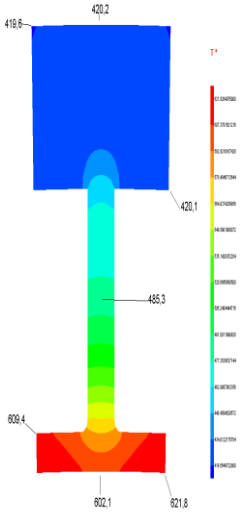
- Полностью неявная схема
- Многосеточный агрегативный метод решения СЛАУ
- Разделенный решатель (алгоритм SIMPLE-PISO)
- RANS модели турбулентности (k-e, SA, SST HIGH-LOW RE)
- LES, DES модели турбулентности (DDES, IDDES)
- Модели Бринкмана-Форхгеймера и Дарси для анизотропных пористых сред
- Модель свободной поверхности
- Модель неявного сопряженного теплообмена
- Модель вентилятора



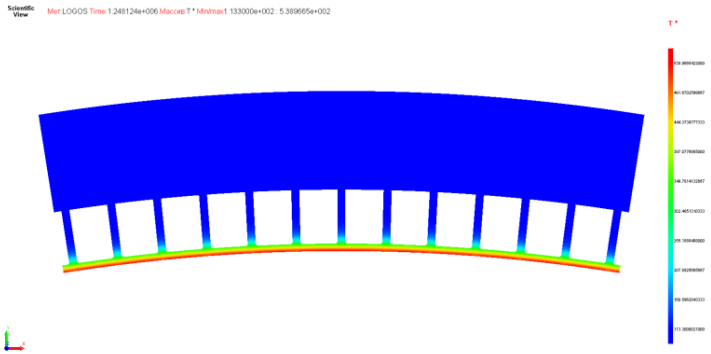
РОСАТОМ

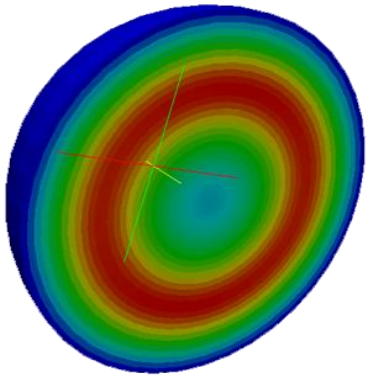


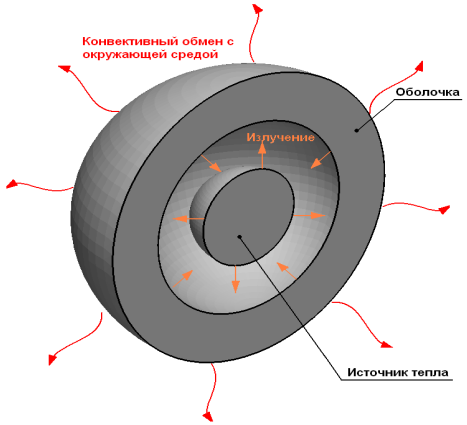
ЛОГОС
Тепло



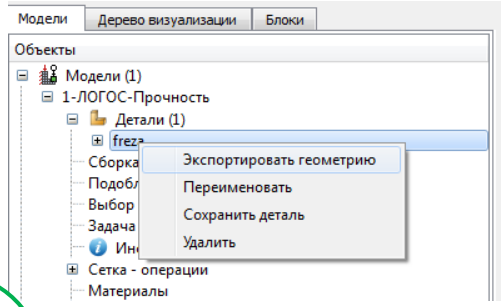
- Стационарная и нестационарная теплопроводность
- Нелинейная теплопроводность
- Явно-неявная конечно-объёмная схема
- Анизотропные материалы
- Учёт объёмного тепловыделения
- Перенос излучения с диффузным переотражением
- Модель горения по Аррениусу
- Теплоперенос с учетом фазовых переходов

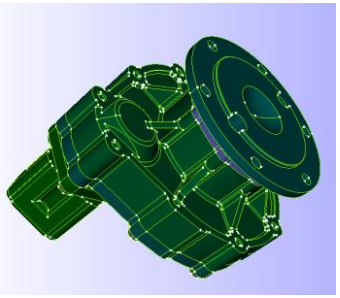




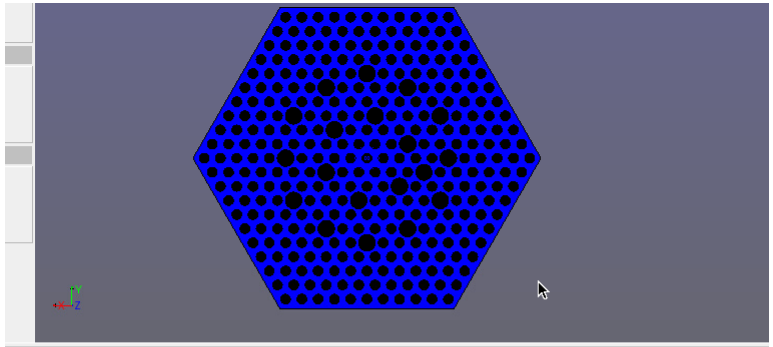


Препостпроцессор ЛОГОС





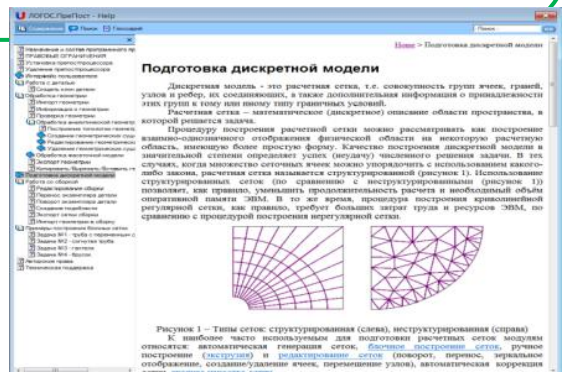
- ✓ Возможность конвертации (импорта/экспорта) сеточных данных из основных CAE-систем (более 20 форматов).
- ✓ Макроязык, позволяющий автоматизировать сценарии подготовки расчетной модели.
- ✓ Средства информационной поддержки пользователя (Интерактивная документация).



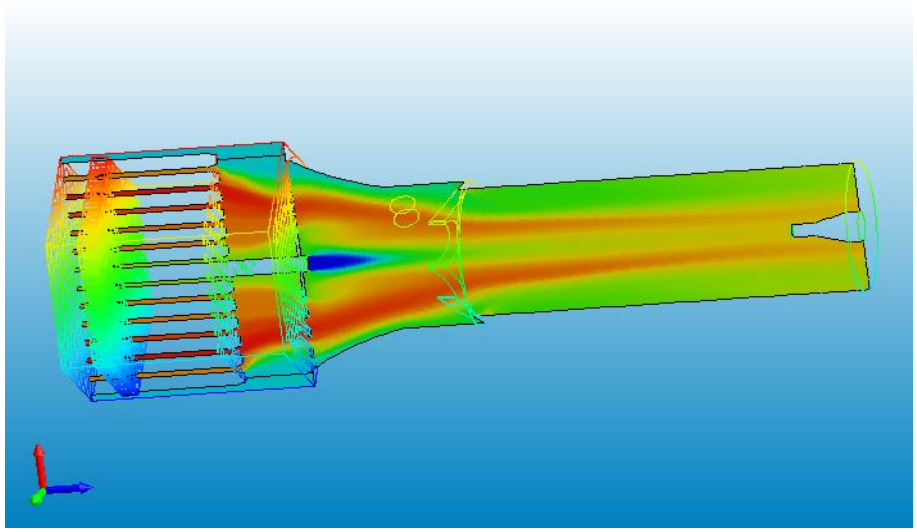
но информации

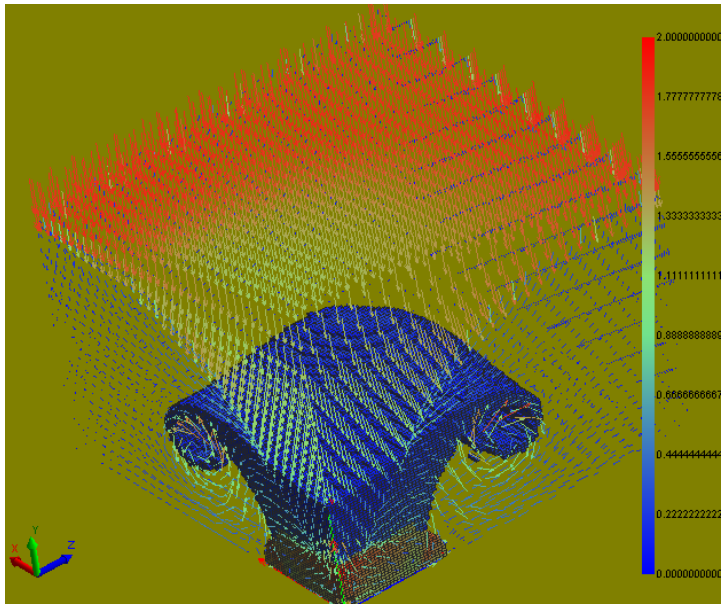
Консоль | Редактор кода | Результаты

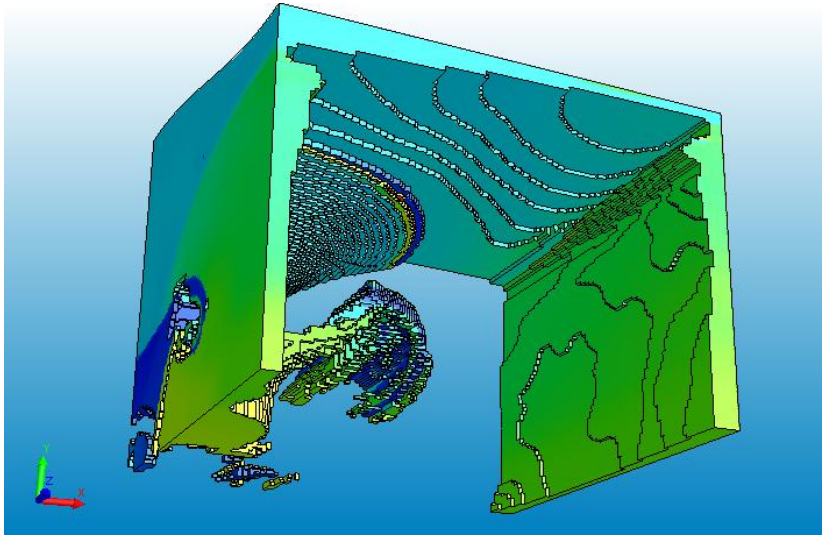
```
uppPyExecutor().NewModel( {'ModelName': 'LogosUnionModels'} );
uppPyExecutor().ImportModelMesh( {'FileName': inputFileName, 'Mode': 0} );

setId = uppPyExecutor().CreateSet( {'Type': 3, 'Name': "Segment", 'MeshId': 0,
'StartId': startIndex} )("Id");

output = uppPyExecutor().GetBoundBoxOperation( {'GridId': 0, 'InputDataType':
8, 'Index': setId} );
segmentDepth = output( "zMax" ) - output( "zMin" );
zMin = output( "zMin" );

input = uppPyDataSet();
i = 0
while i < len( positions ):
        input.AddValue( i, "SegmentPosition", positions[i] );
        input.AddValue( i, "SegmentDepth", segmentDepth );
        i += 1
uppPyExecutor().RemoveMeshSegments( input );
```

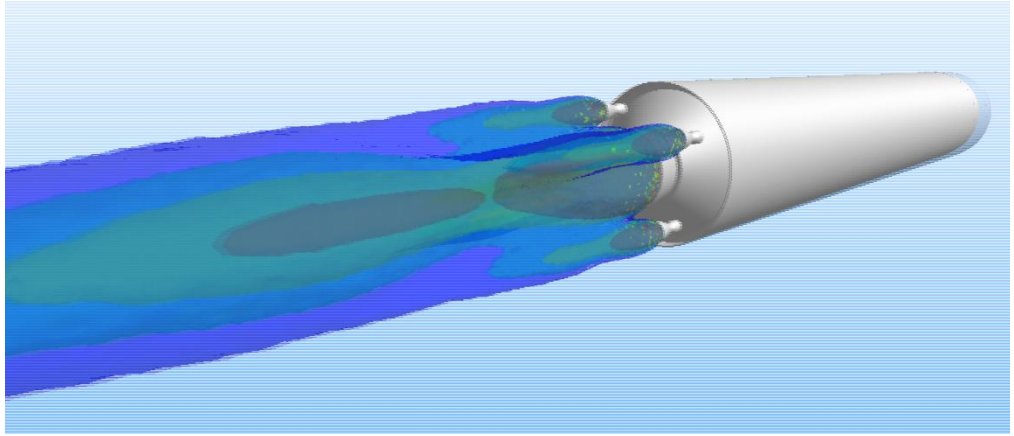


Постобработка

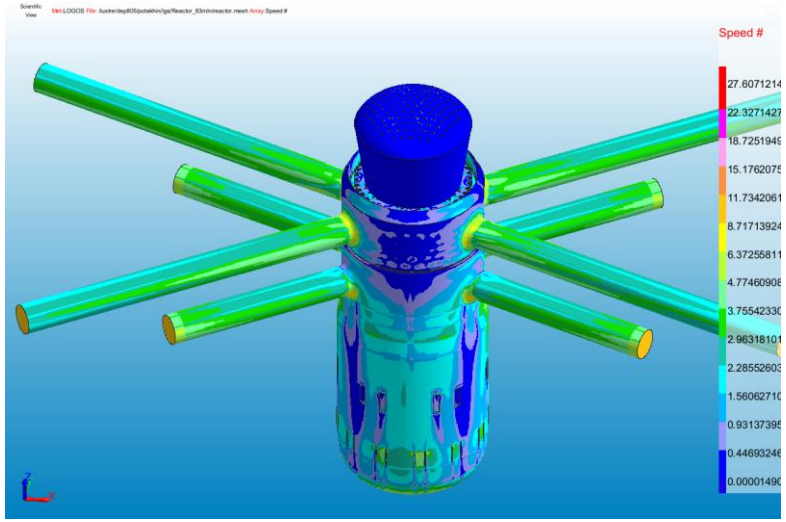


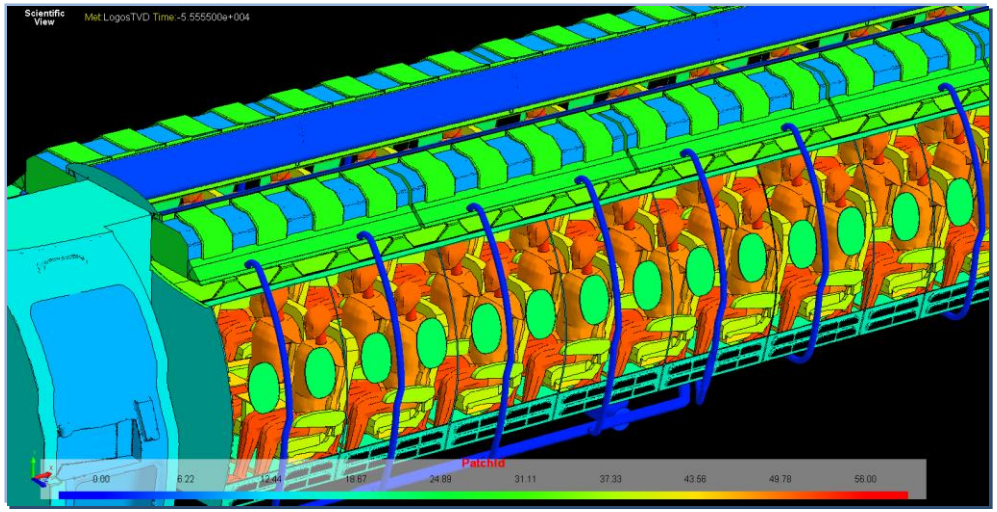






Параллельный режим



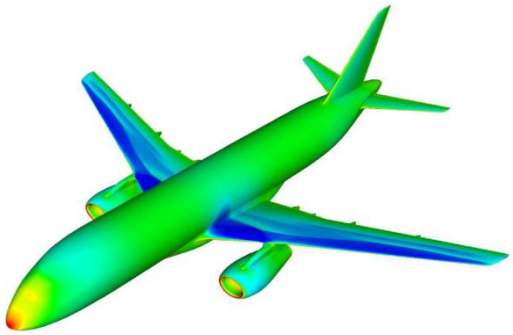


- Полнофункциональная параллельная версия, обеспечивающая обработку данных на кластерных СуперЭВМ с более 1000 процессорных ядер.
- Интерфейс пользователя ничем не отличается от последовательного варианта
- Параллельные алгоритмы формирования изображения даже на данных из миллиардов счетных ячеек обеспечивают режим работы в реальном времени, на порядок обходя по данному параметру коммерческое ПО.

Распараллеливание вычислений на универсальных процессорах:

- Декомпозиция расчётной сетки;
- Использование асинхронных MPI обменов;
- SIMD векторизация матричных операций с блоками (4x4, 5x5, …);
- Параллельный алгебраический многосеточный решатель СЛАУ.

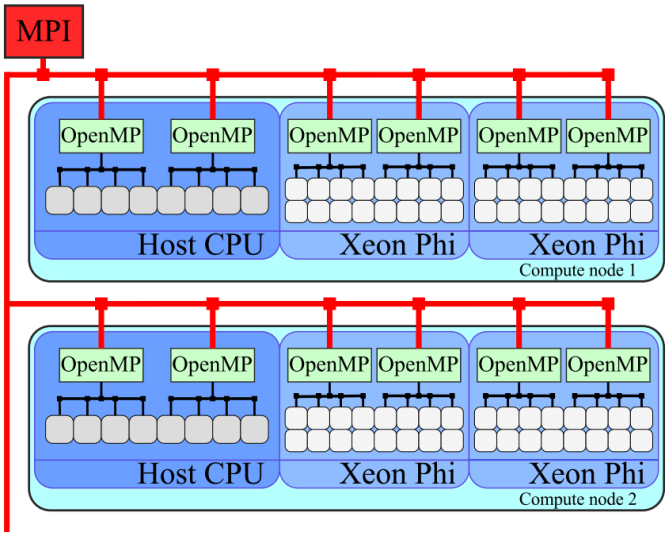
Эффективность распараллеливания: $$K = \frac{t_{calc}}{t_{calc} + t_{MPI}}$$



Тестовая задача – расчёт аэродинамики ЛА
(48 млн. ячеек, 240 процессорных ядер)
К = 94%

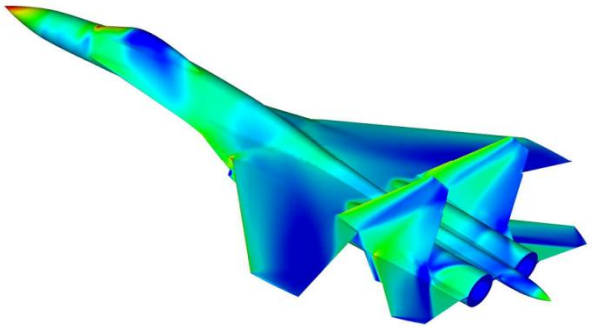
Распараллеливание вычислений на сопроцессорах Intel Xeon Phi:

- Неоднородная декомпозиция расчётной сетки (статическая балансировка вычислений);
- Распараллеливание с использованием MPI + OpenMP;
- SIMD векторизация матричных операций с блоками (4x4, 5x5, …);
- Параллельный алгебраический многосеточный решатель СЛАУ с многоцветными и конвейерными сглаживателями (SGS, ILU).



Тестовая задача – расчёт аэродинамики ЛА (26 млн. ячеек, 30 CPU + 30 Intel Xeon Phi)

К ~ 75%



Адаптация и внедрение

Атомная энергетика:

Обеспечение нового качества при проектировании, сооружении и эксплуатации ядерных энергетических установок.

Компьютерные модели «виртуальная АЭС с ВВЭР», «виртуальная корабельная ЯЭУ»

Авиастроение:

Разработка и внедрение суперкомпьютерной технологии проектирования и разработки конкурентоспособной отечественной авиационной техники.

Компьютерная модель «виртуальный самолёт (двигатель)»

Автомобилестроение:

Разработка и внедрение суперкомпьютерной технологии проектирования конкурентоспособной отечественной автомобильной техники.

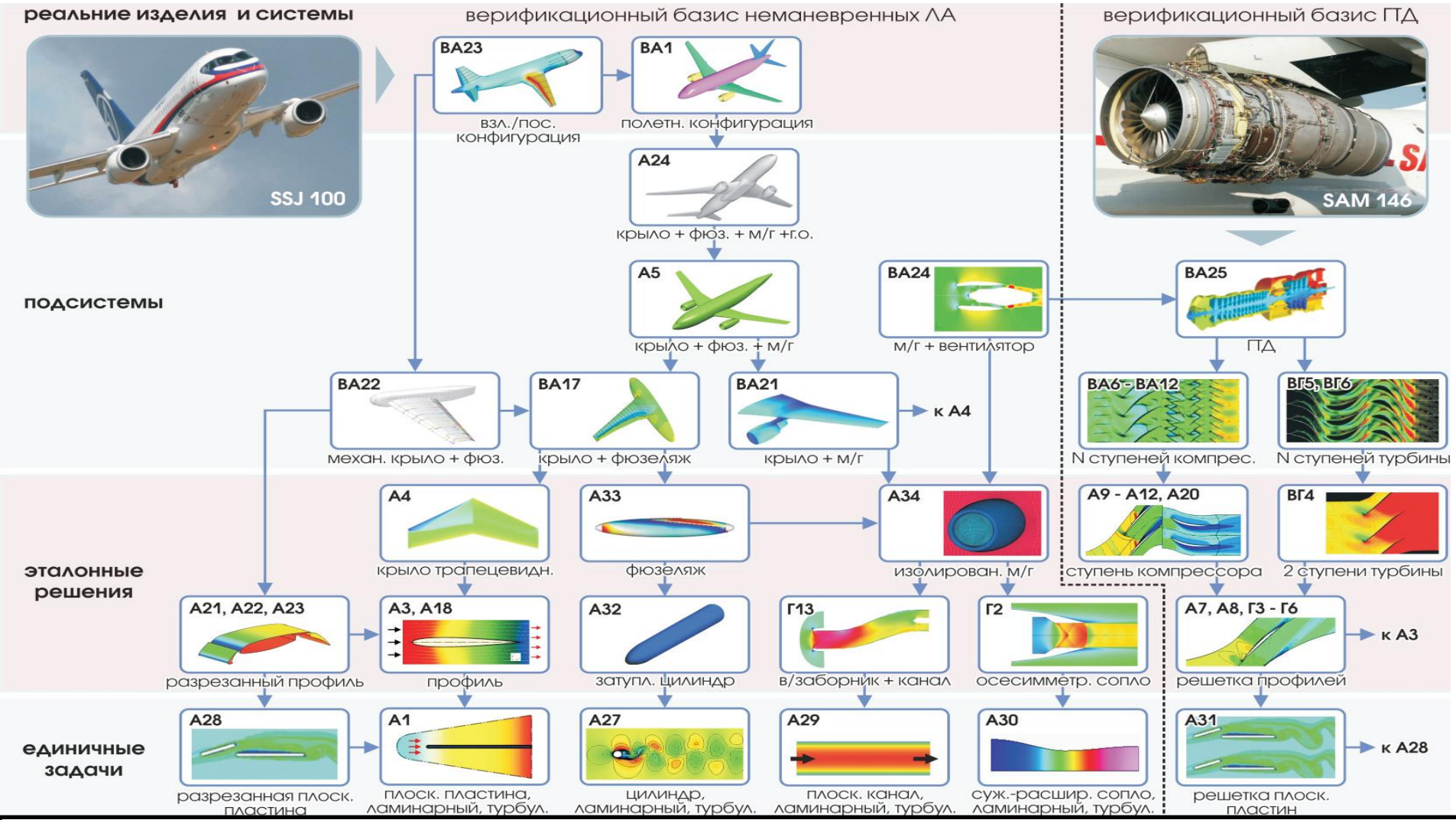
Компьютерная модель «виртуальный автомобиль»

Ракетно-космическая отрасль:

Суперкомпьютерные технологии для проектирования и наземной отработки современных образцов ракетно-космической техники.

Компьютерная модель двигателя РД-0146 ракетных носителей «Ангара-А5» и «Русь-М»

Верификация и валидация прикладного программного обеспечения

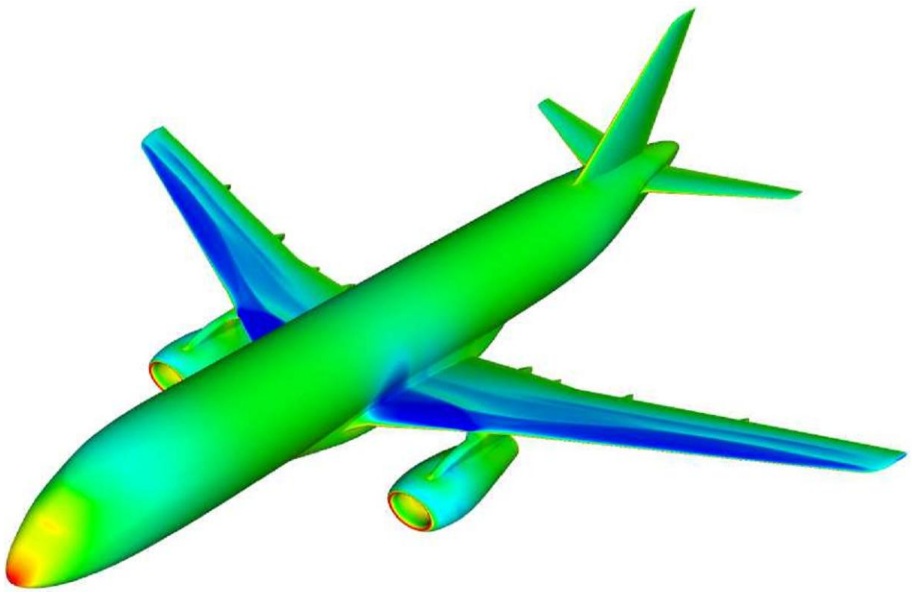


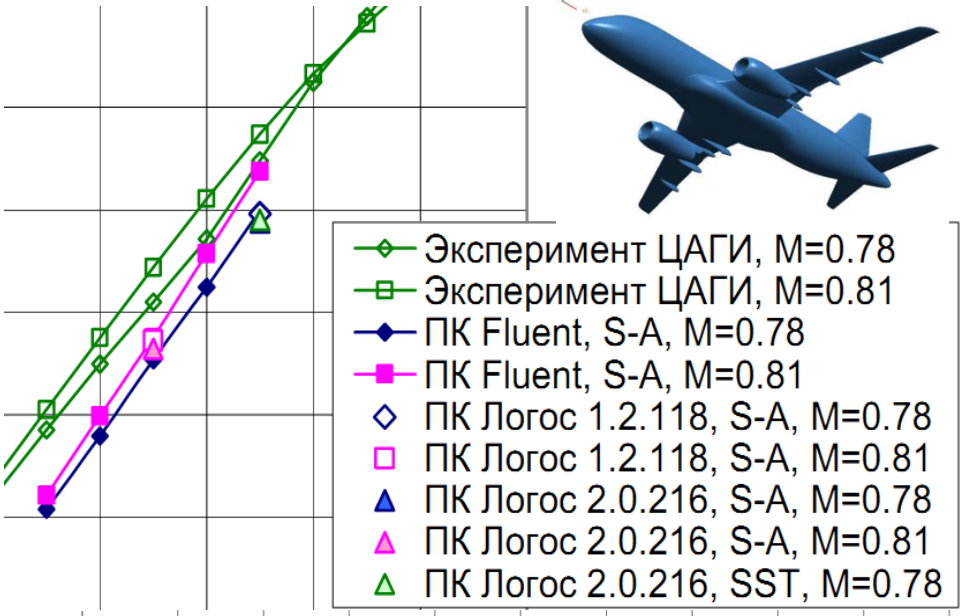
Верификационная содержит более 300 задач различного уровня сложности для верификации и валидации БПО по вычислительной гидродинамике, аэродинамике, акустике, тепловому анализу, прочности, а также связные задачи и задачи генерации дискретных моделей.

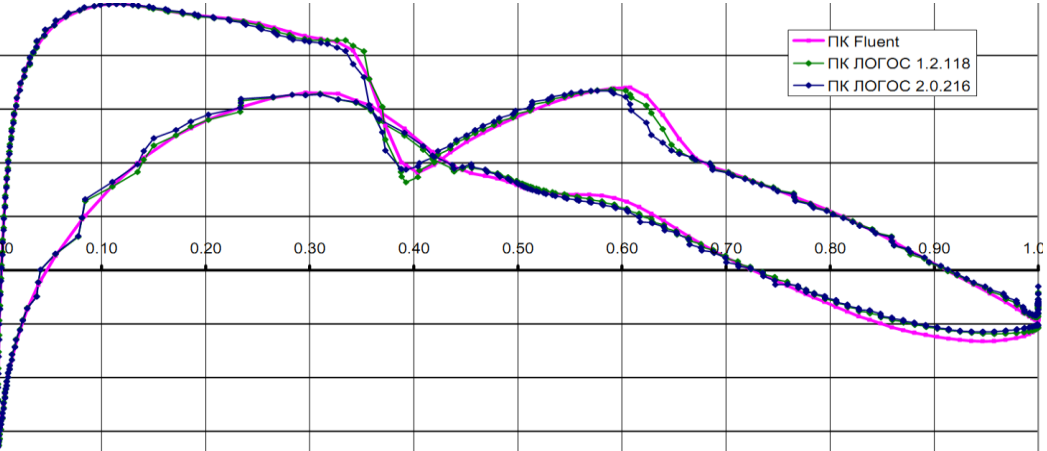
Расчет аэродинамических характеристик отечественного пассажирского лайнера нового поколения SSJ-100 ОАО «Компания Сухой»

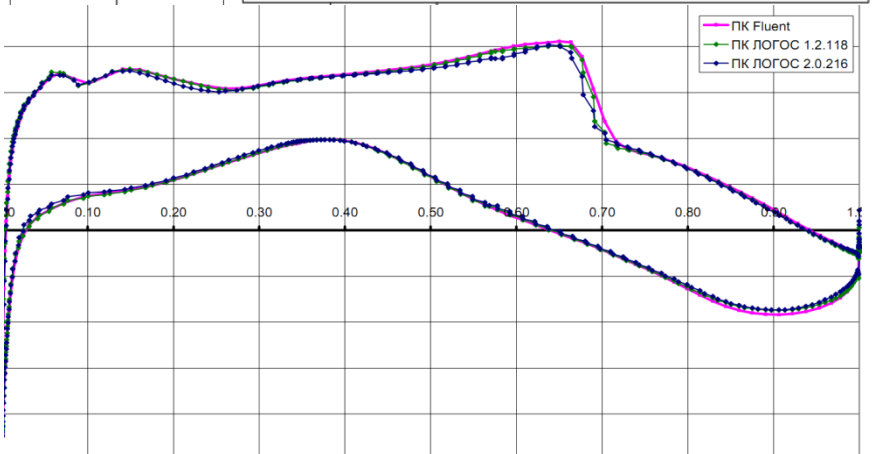
Цель решения задачи: сократить количество экспериментальных работ

Крейсерский режим полета: число Маха = 0.78;
Расчетная сетка: -100 млн. ячеек; Число процессоров: 144
Время расчета: ~40 часов; Время расчета на ПЭВМ: ~3000 часов

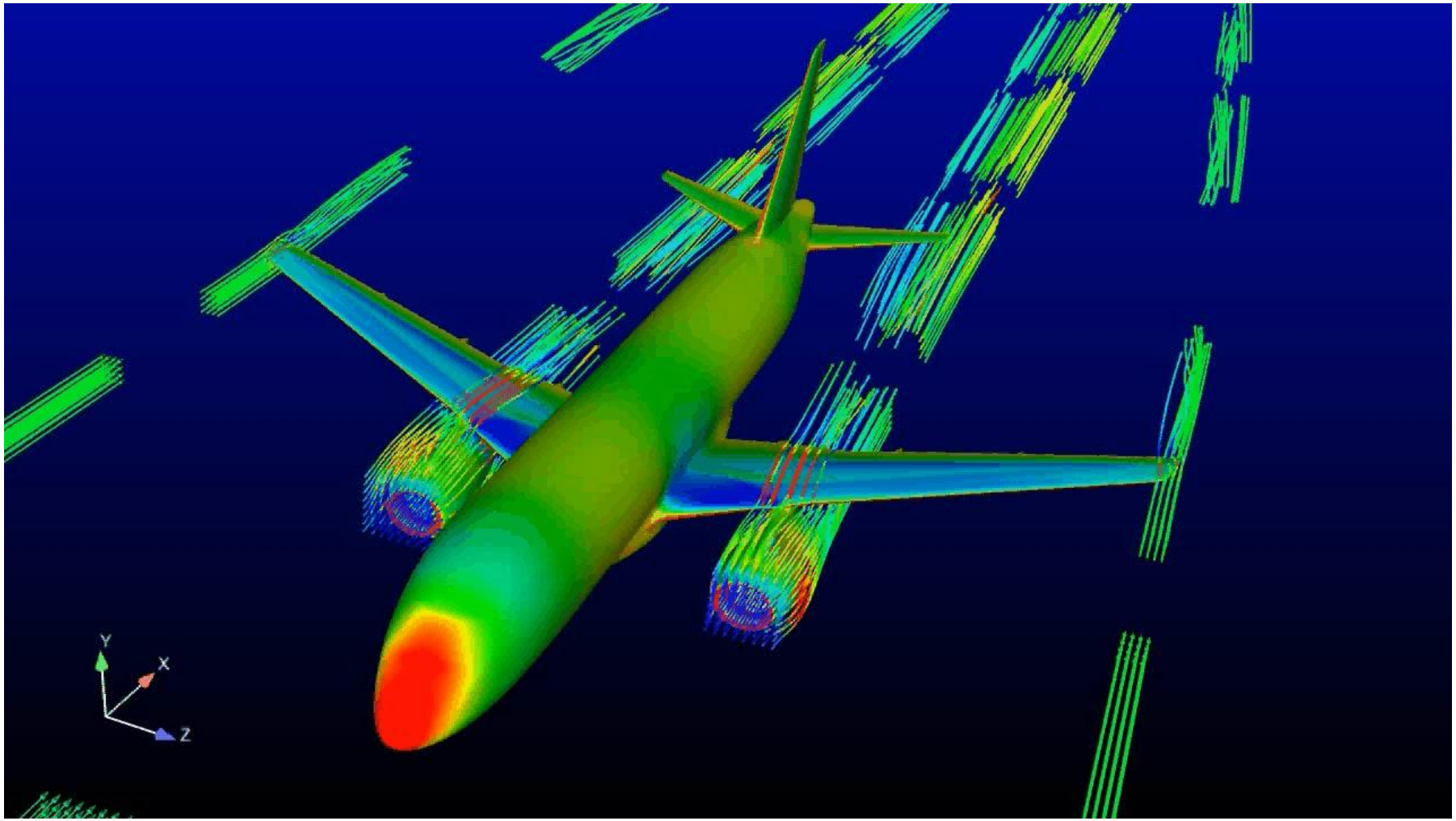








Расчет аэродинамических характеристик отечественного пассажирского лайнера нового поколения SSJ-100 ОАО «Компания Сухой»

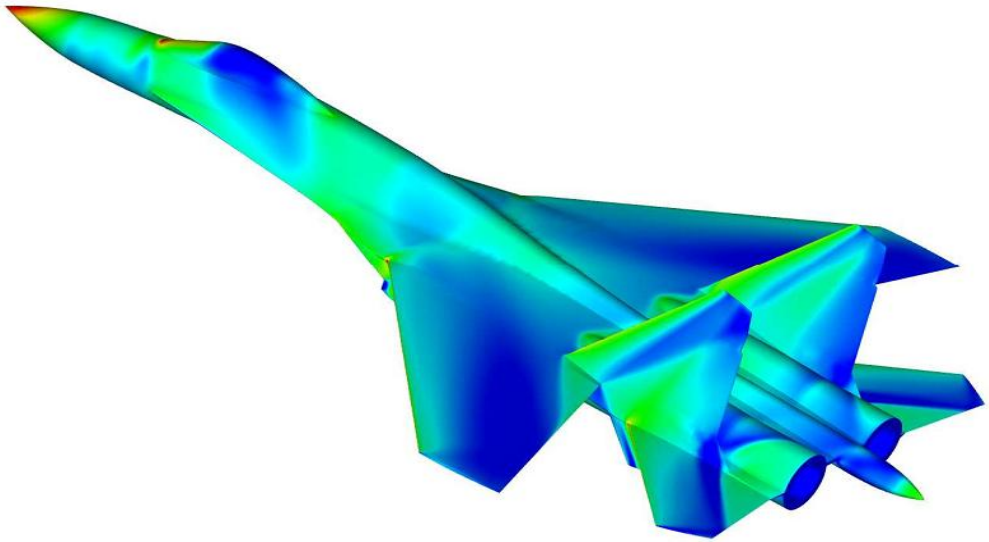


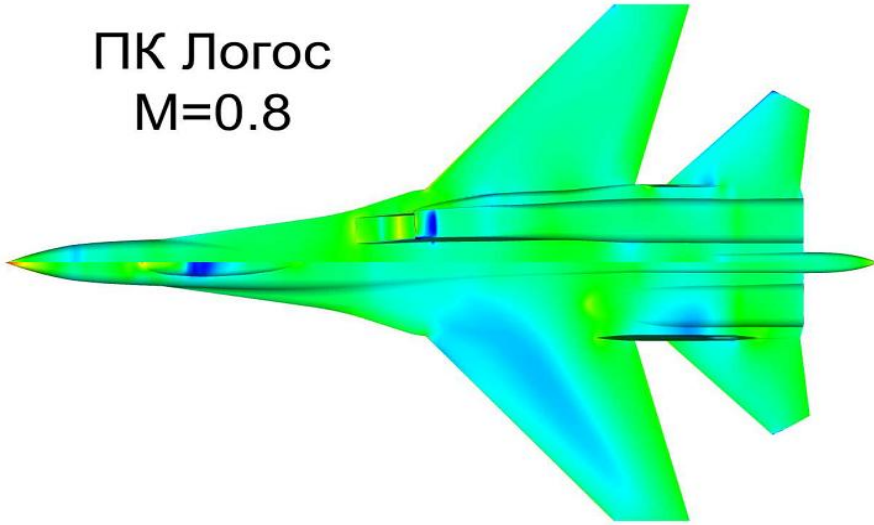
Расчет аэродинамических характеристик боевого маневренного самолета

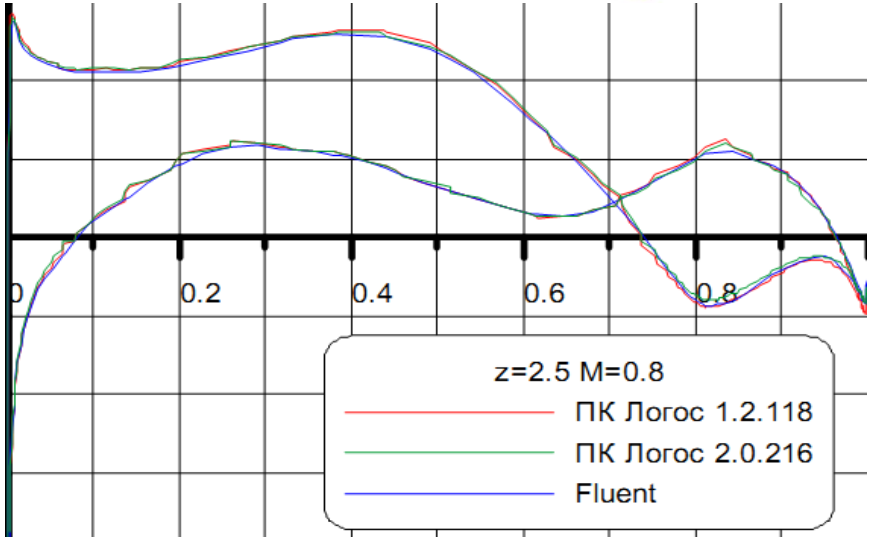
ОАО «Компания Сухой»

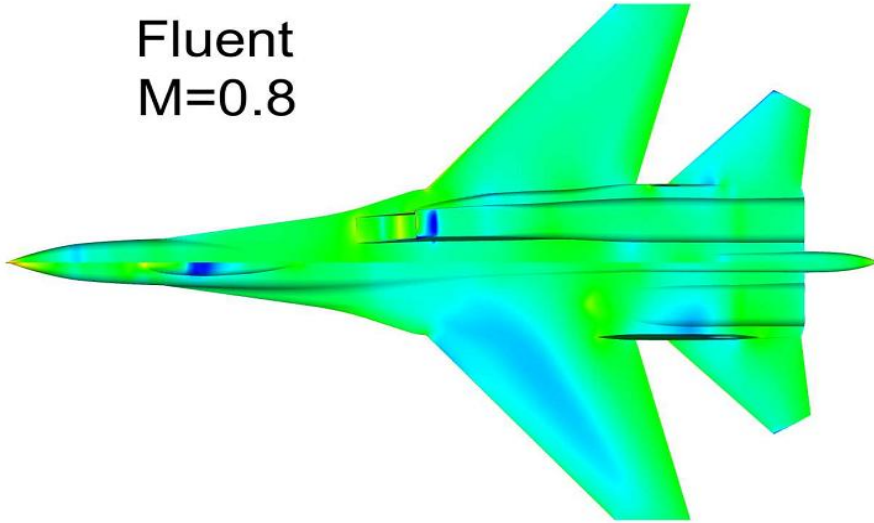
Цель решения задачи: сократить количество экспериментальных работ

Режим полета: число Маха = 0.8; Расчетная сетка: ~18-50 млн. ячеек;
Число процессоров: 144; Время расчета: ~50 часов;



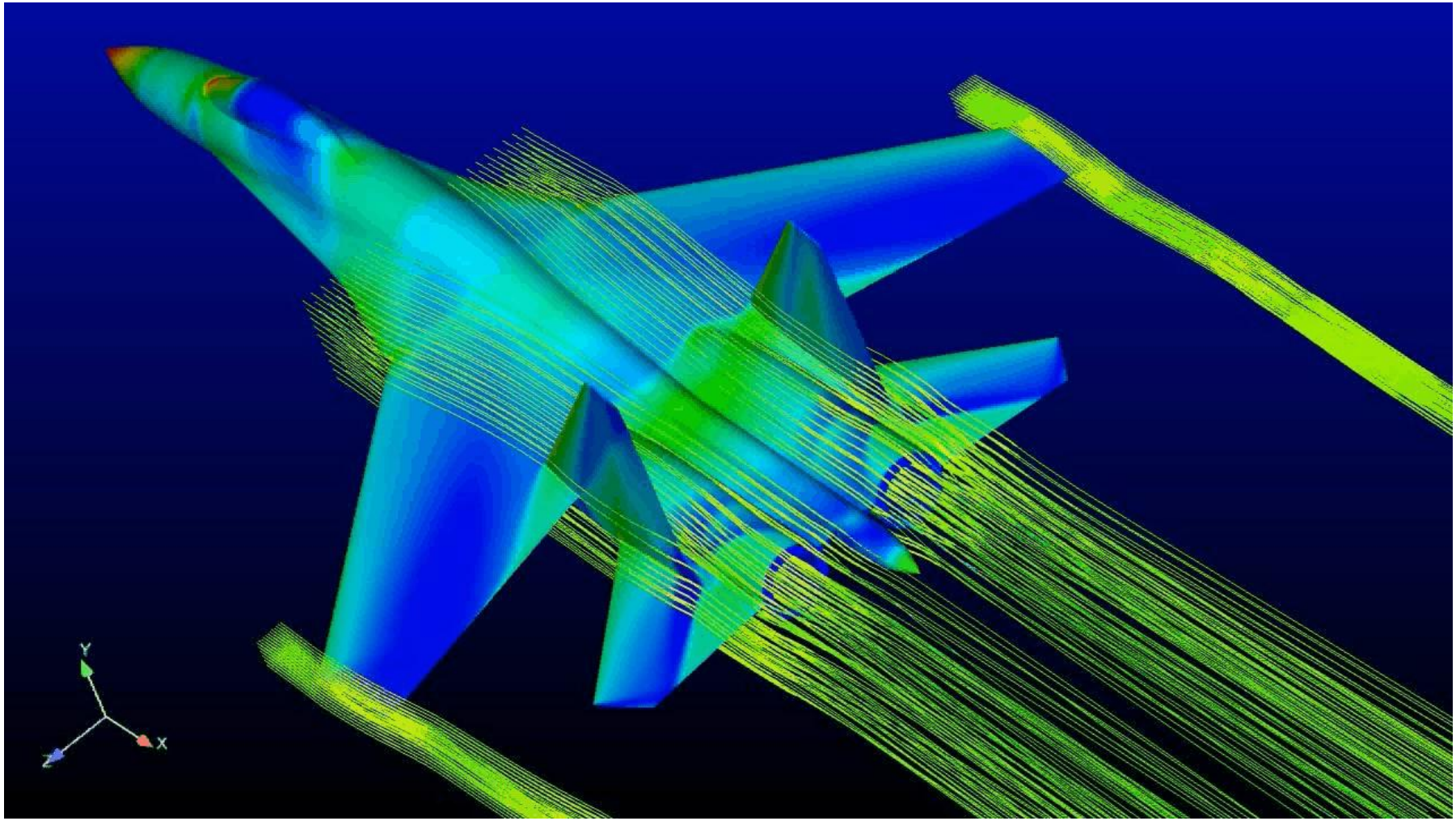




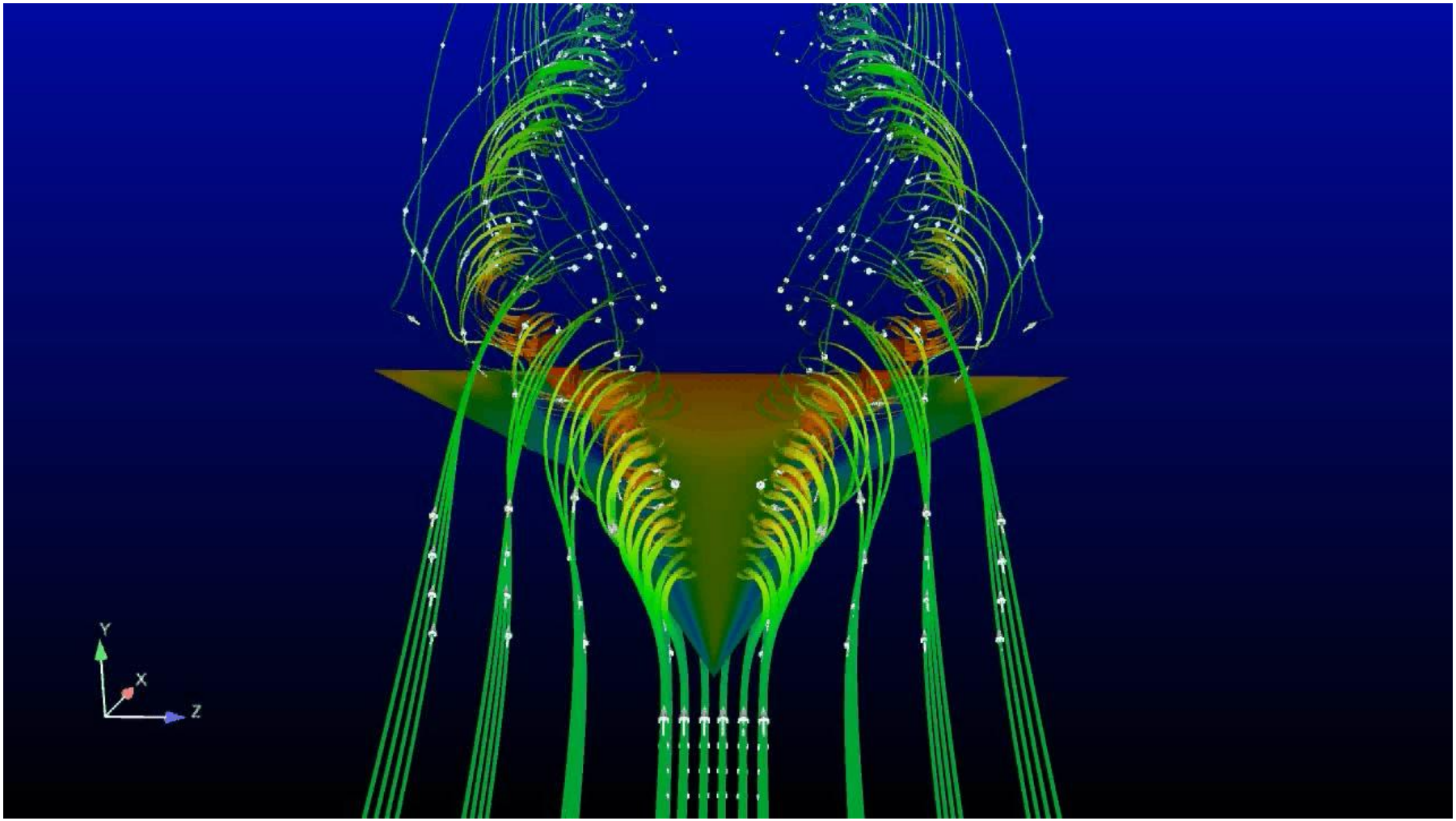


Расчет аэродинамических характеристик боевого маневренного самолета

ОАО «Компания Сухой»



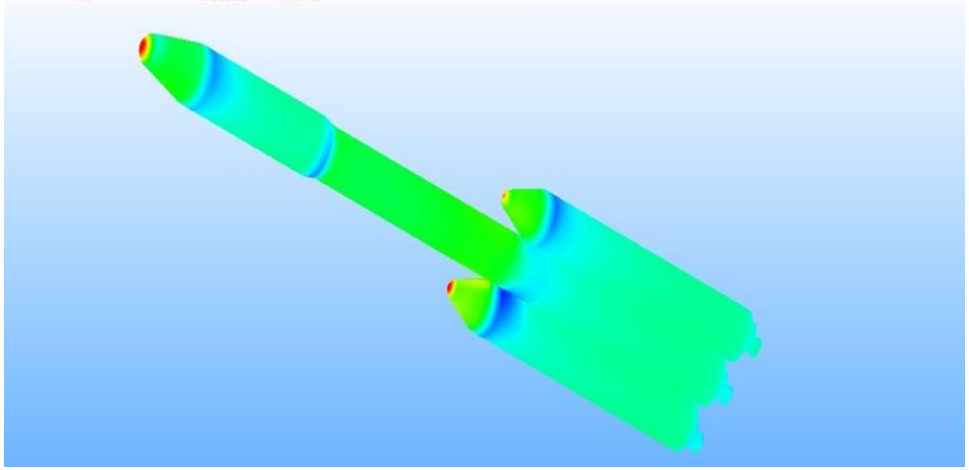
Расчет аэродинамических характеристик маневренного самолета в компоновке Утка ОАО «Компания Сухой»



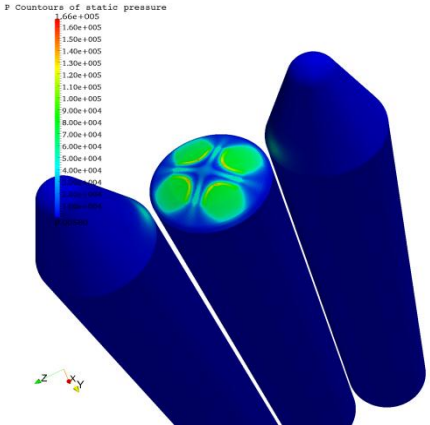
Моделирование газодинамических процессов для РКН и отделяемых элементов

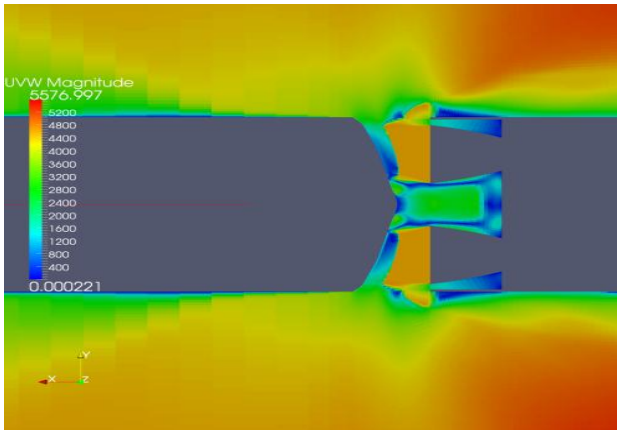
(ФГУП «ЦСКБ Прогресс»)

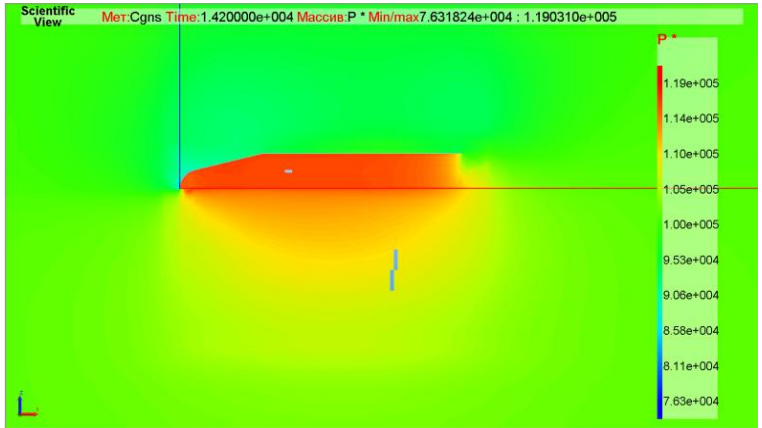
Цель решения задачи: Сокращение количества испытаний на мелкомасштабных моделях и экспериментов в аэродинамических трубах



Расчётная сетка: 8-20 млн. ячеек;
Число процессоров: 50-600
Время расчёта: ~20 часов;



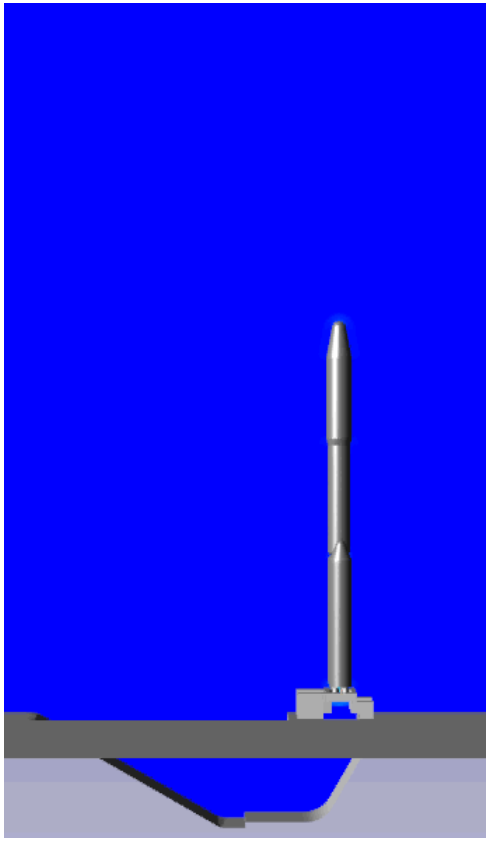




Моделирование старта ракетоносителя со стартового комплекса космодрома (ФКП «НИЦ РКП»)

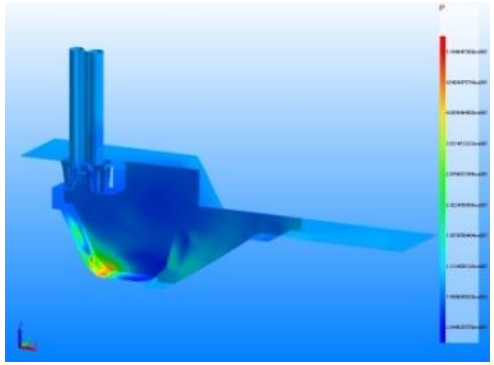
Цель решения задачи: Оценка взаимодействия струи ЖРД со стартовым комплексом

Расчётная сетка: 20 млн. ячеек;
Число процессоров: 600
Время расчёта: ~60 часов;

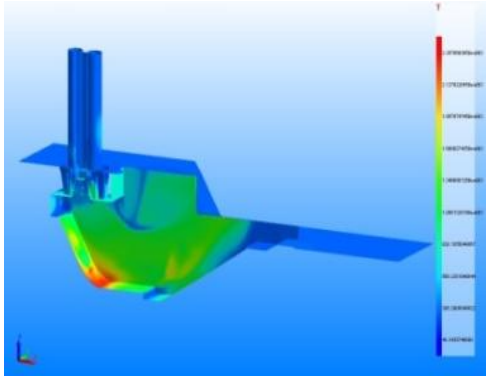


Нестационарный анализ ударно-волновых нагрузок на РКН и пусковую установку

Давление

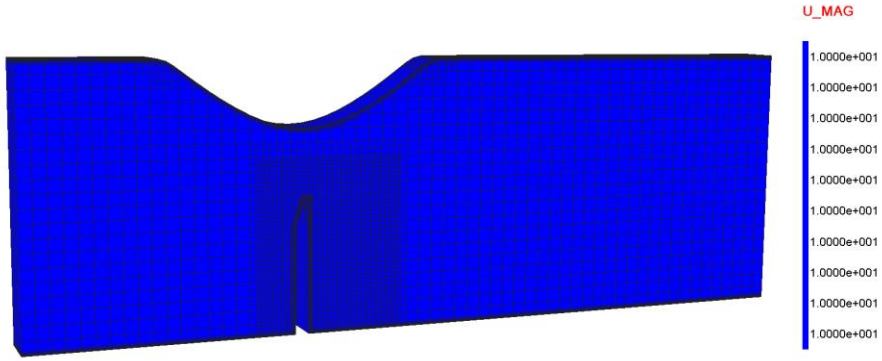


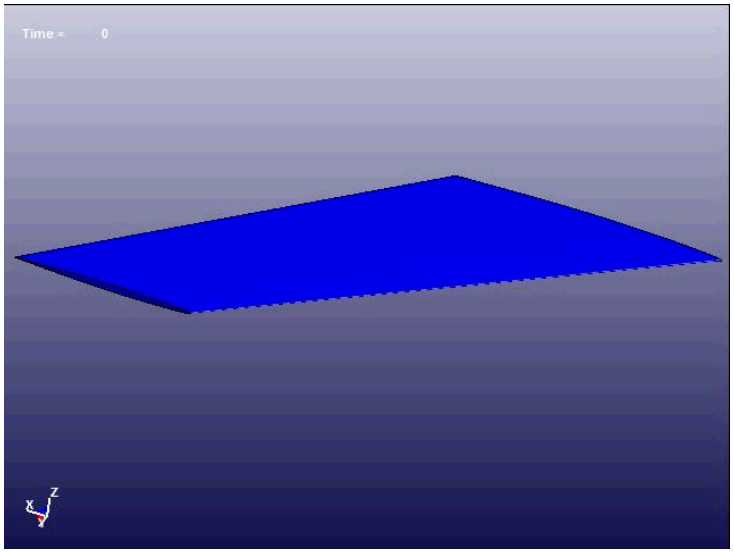
Температура

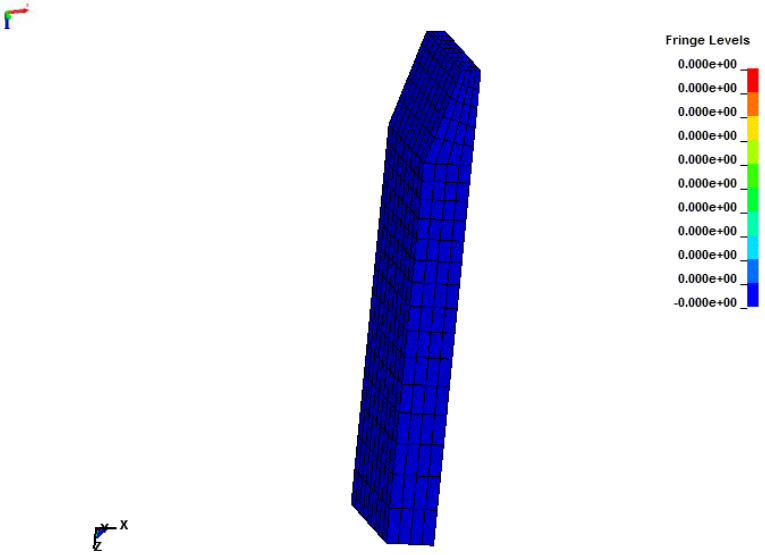


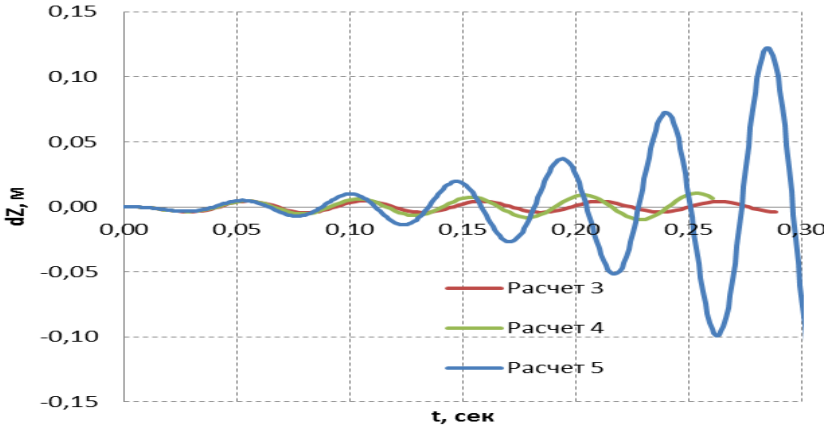
Решение связанных задач «ЛОГОС-CFD»+«ЛОГОС-Прочность»

Задачи «аэроупругости», определение границ флаттера



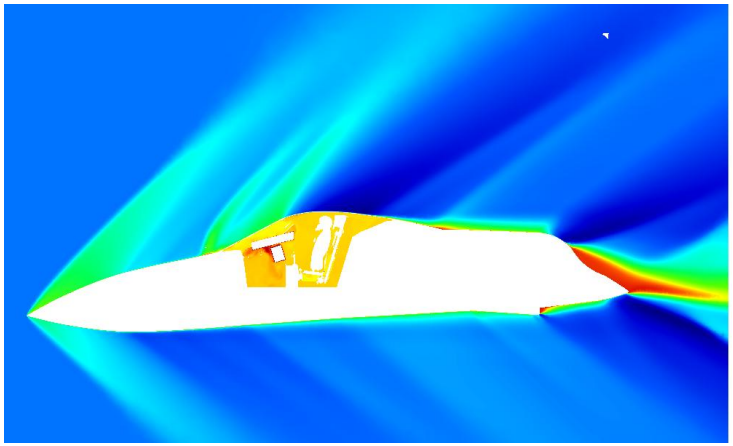




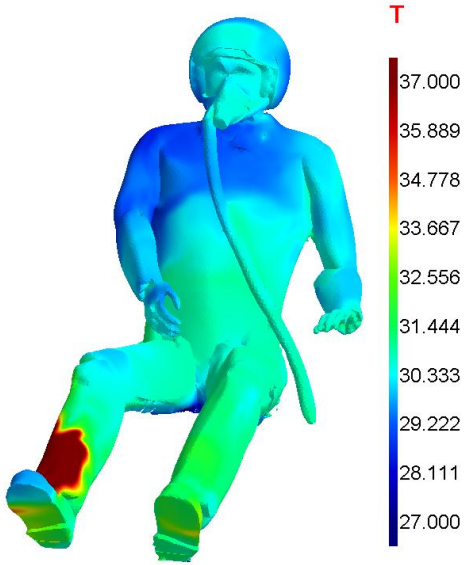


Решение связанных задач сопряжённого теплообмена

Расчет тепловых потоков в кабине экипажа маневренного ЛА с учётом аэродинамического разогрева остекления кабины и тепловыделения от оборудования

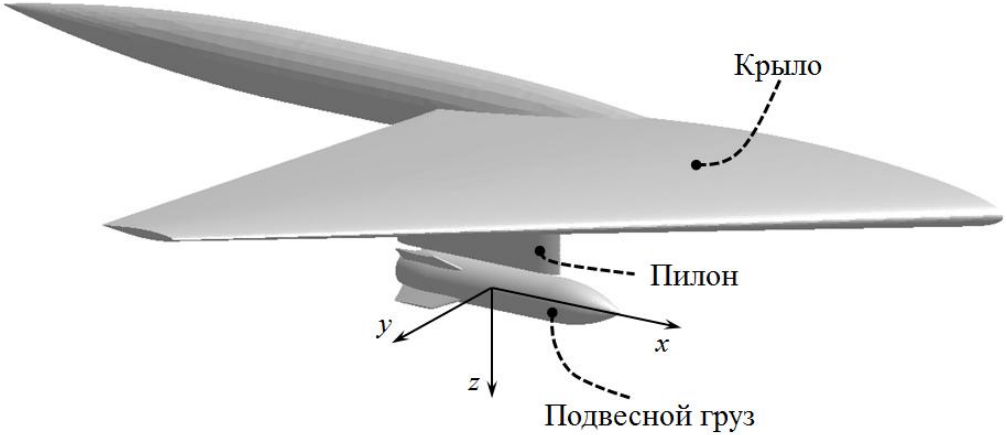


Температура в расчетной области

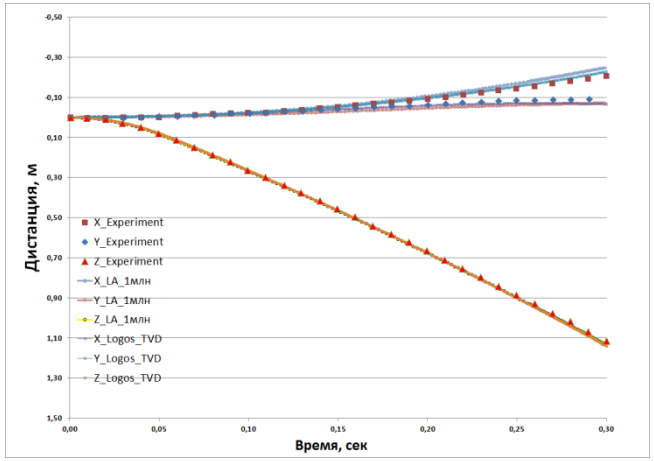


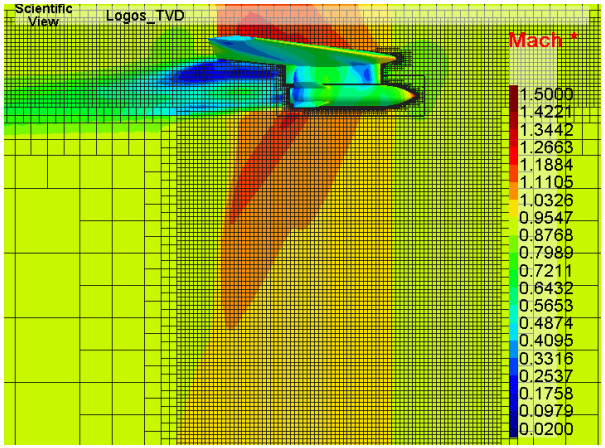
Температура на поверхности модели

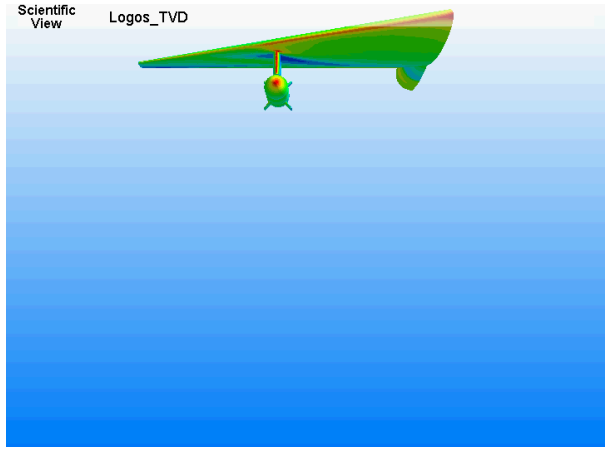
Нестационарное отделение подвесного груза



- Нестационарный расчёт;
- Трансзвуковой режим (M = 0.95);
- Наличие силы тяжести;
- Учёт аэродинамических сил;
- Учёт воздействия катапульты;
- Шаг по времени 2.0e-4 сек.
- Модель твёрдого тела.

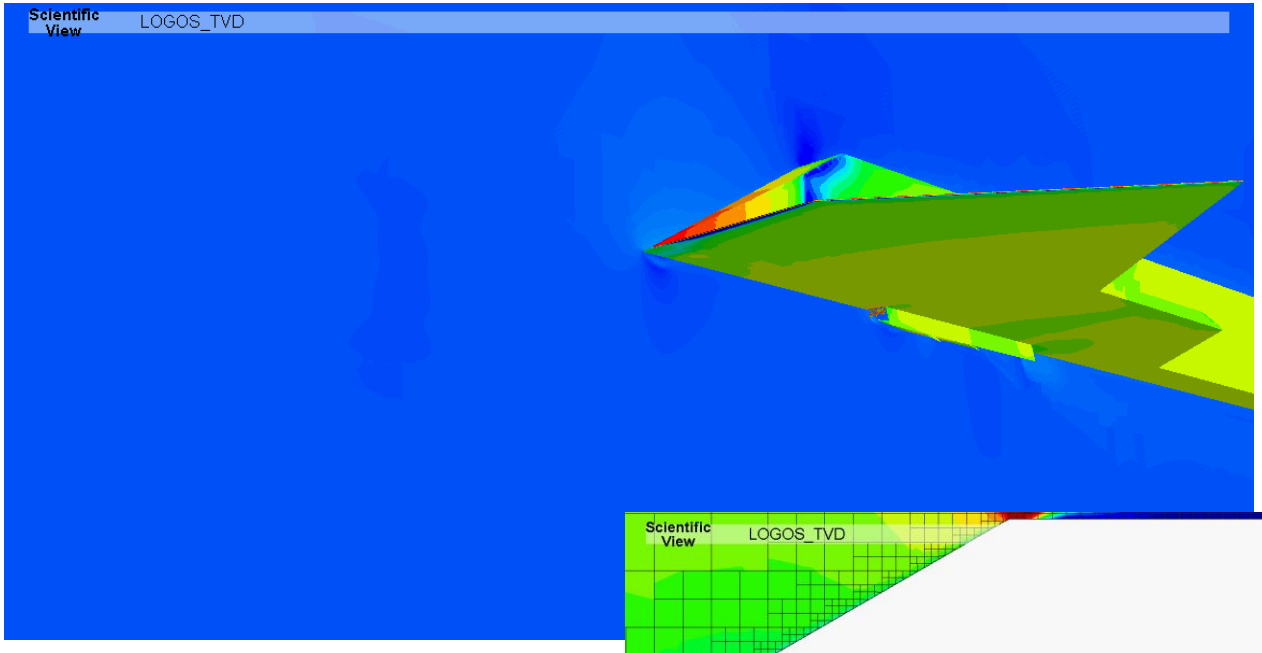


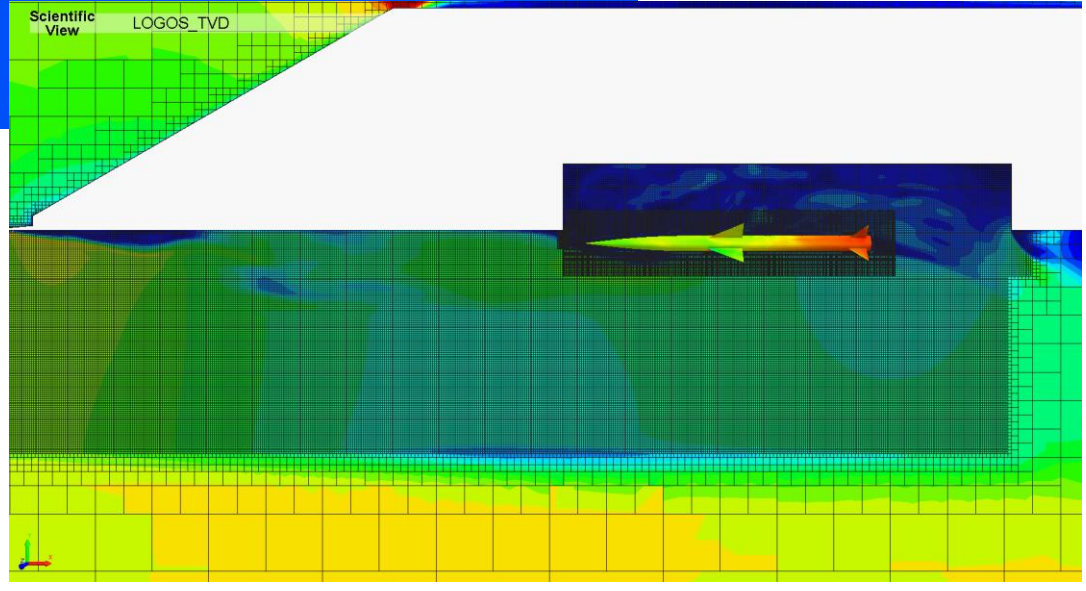




Computational fluid dynamics analysis of store separation. Department of Aerospace Engineering, H. Ozgur Demir, 83 pages, 2004

Моделирование движения АСП в присутствии носителя





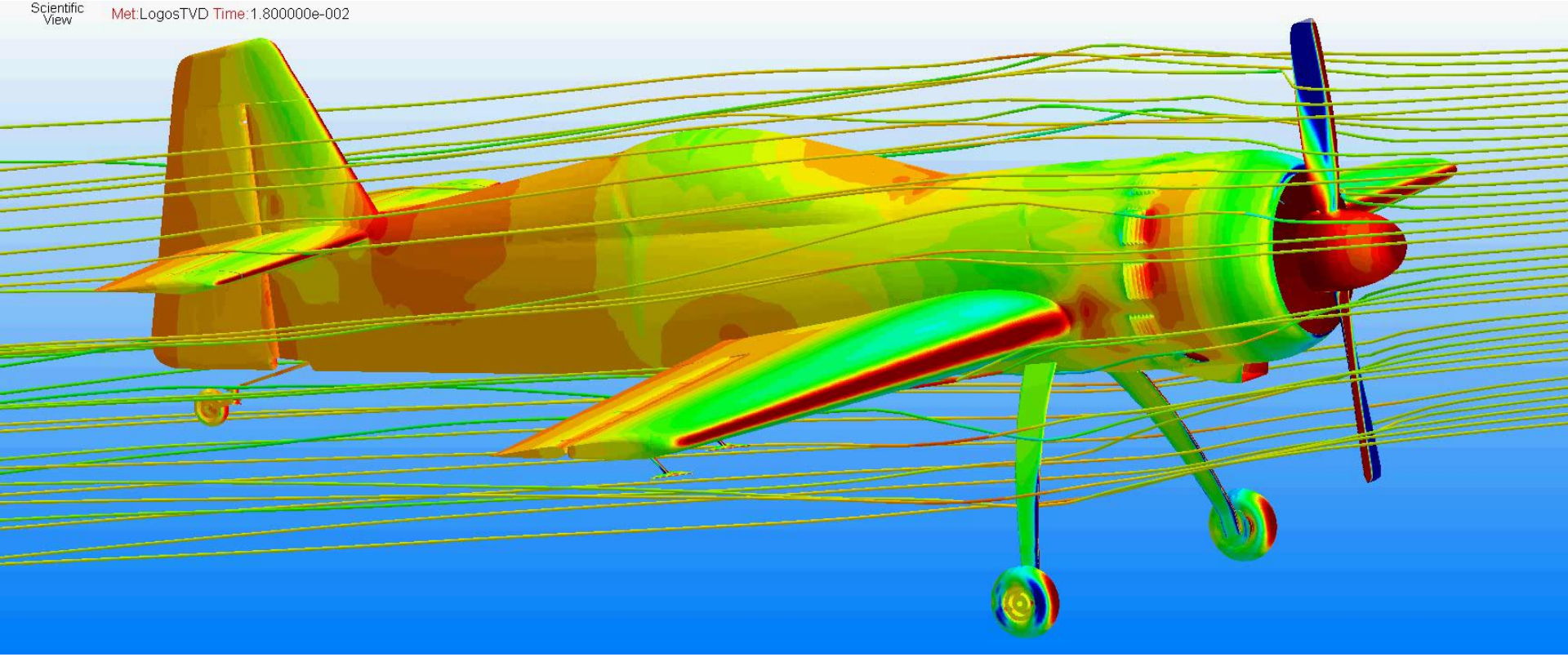
Информация о задаче:

- Трансзвуковое течение;
- 10 млн. ячеек;
- Количество ядер 240;
- Время расчёта 6 часов;
- Шаг по времени 1.0е-6 сек.

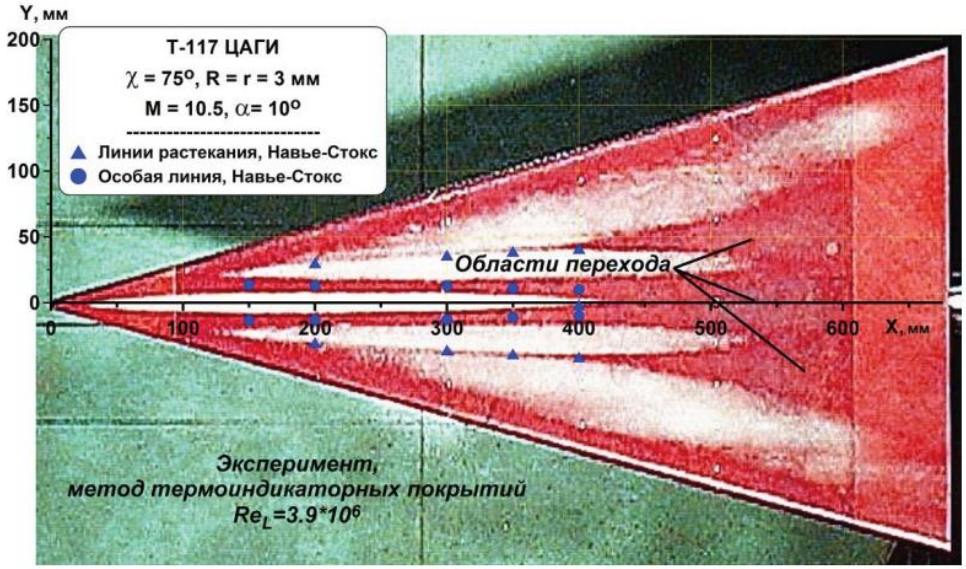
ЗАДАЧИ С ПОДВИЖНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ КОНСТРУКЦИЙ

Сетки с перекрытием - “ХИМЕРА”

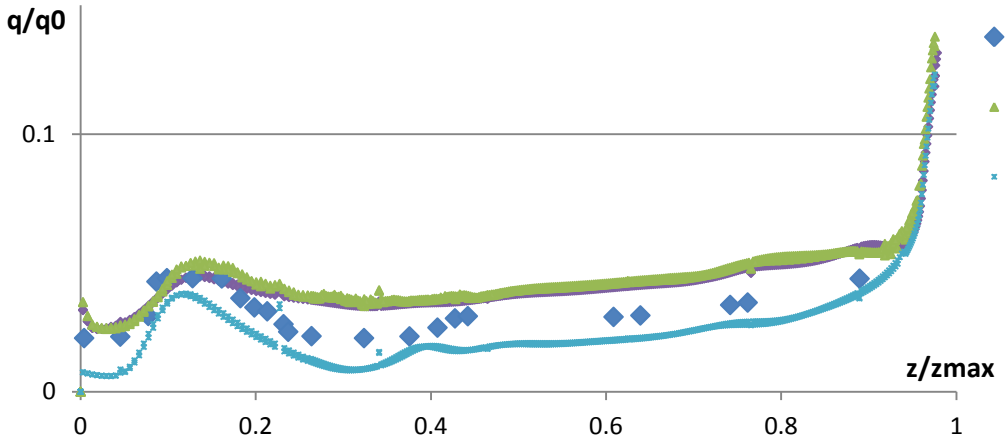
Обтекание спортивного самолёта с учётом работы двигателя



Расчёт тепловых потоков при гиперзвуковых скоростях



Тепловые нагрузки на наветренной стороне треугольного крыла. Эксперимент в аэродинамической трубе Т-117 ЦАГИ.

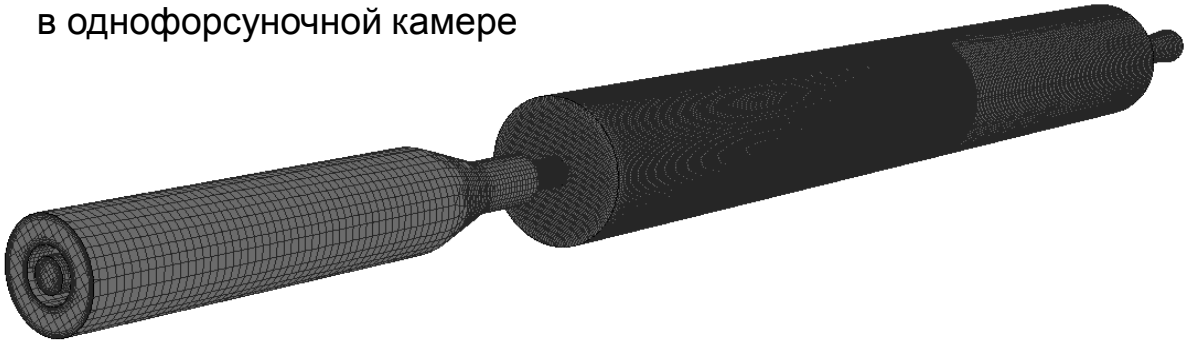


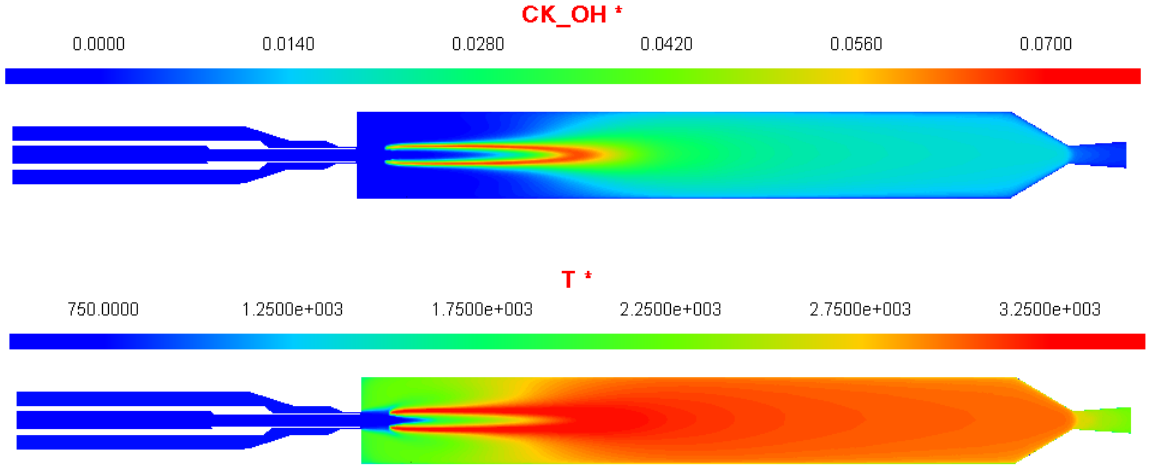
- SST_CFX
- exp
- SST_LOGOS
- laminar_LOGOS

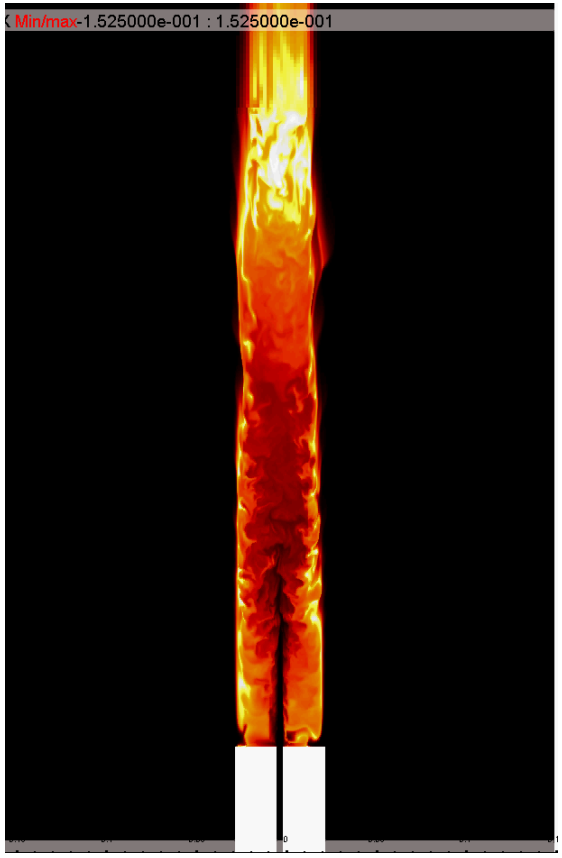
Тепловые нагрузки на наветренной стороне крыла в сечении X=300мм

Введены модели неравновесных течений с учётом турбулентности: EddyBreakUp (EBU), EddyDissipationConcept (EDC)

Моделирование горения кислород-водородной смеси
в однофорсуночной камере







Горение углеводородных топлив

Спасибо за внимание