

CFD-Уикенд 2020

Пакет программ ЛОГОС. Новые возможности
Дерюгин Ю.Н.

Российский федеральный ядерный центр –
Всероссийский научно-исследовательский
институт экспериментальной физики (РФЯЦ-
ВНИИЭФ), г. Саров Нижегородской области

Москва ИПМ

1.12.19

План доклада

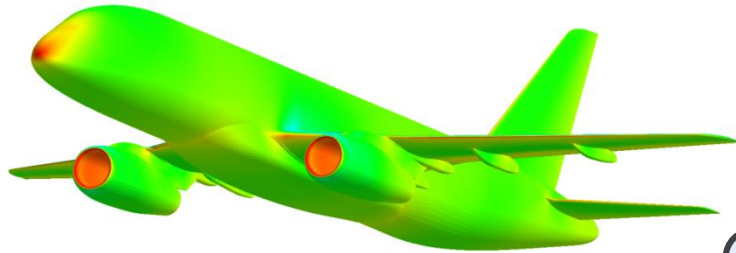
1. Общих сведения о программе ЛОГОС
2. Препроцессор
3. Новые возможности Препроцессора
4. Модуль ЛОГОС-Аэродинамика
5. Новые возможности модуля ЛОГОС-Аэродинамика
6. Модуль ЛОГОС-Гидродинамика
7. Новые возможности модуля ЛОГОС-Гидродинамика
8. Модуль ЛОГОС-Тепло
9. Новые возможности модуля ЛОГОС-Тепло

Пакет программ ЛОГОС

Аэрогидромеханика

ЛОГОС

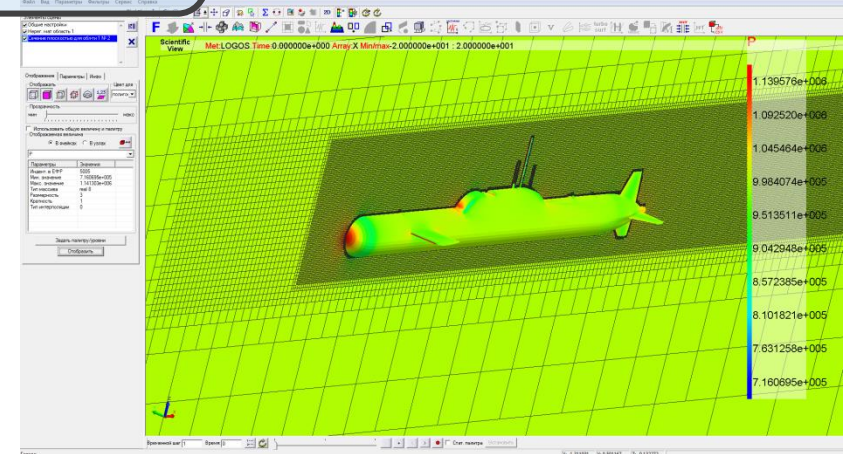
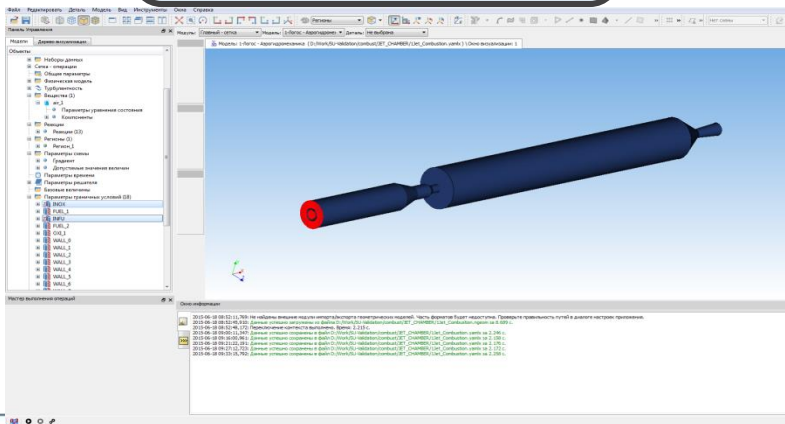
Динамика
Прочность



Обработка
результатов

Постановка задачи

Генераторы сеток



ЛОГОС.АЭРОГИДРОМЕХАНИКА

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
- Свободные поверхности
- Системы кондиционирования

Тепло в твердом теле

- Теплопроводность
- Излучение
- Фазовые переходы

- Системы терморегулирования
- Безопасность боеприпасов
- Тепловое состояние объектов
- Сопряженный теплообмен

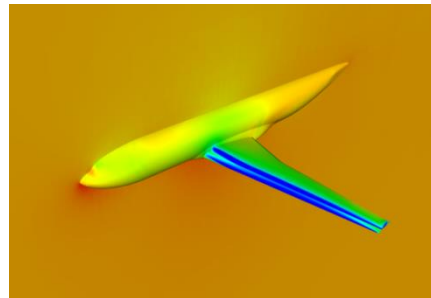
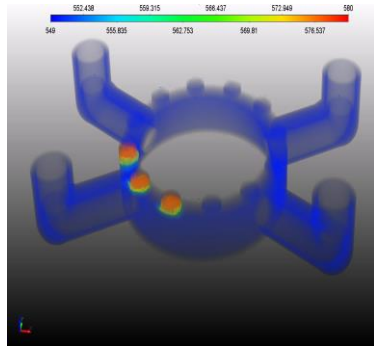
ЛОГОС-ПреПостПроцессор

Полный цикл подготовки начальных данных и анализ результатов моделирования в интерактивном режиме

ПРЕПРОЦЕССОР

Подготовка начальных данных для проведения моделирования

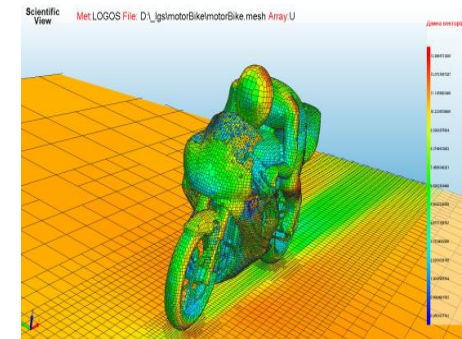
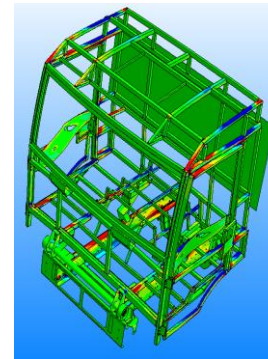
- импорт / экспорт геометрии в стандартных CAD форматах IGES и STEP
- анализ качества и автоматическое исправление геометрии (более 70 алгоритмов)
- различные алгоритмы генерации сеток, позволяющие готовить начальные данные для моделирования прочности, аэрогидродинамики, тепломассопереноса
- задание свойств материалов
- задание начальных и граничных условий, параметров задачи
- контроль и управление процессом моделирования, в том числе за счет on-line отображения интегральных характеристик



ПОСТПРОЦЕССОР

Графический и числовой анализ результатов моделирования

- поддержка различных файловых форматов (ЕФР, VTK, D3PLOT, XDMF, CGNS, NGEOM и др.)
- более 30 алгоритмов графической обработки данных: построение различных сечений, вырезов, векторных полей, изоповерхностей и изолиний, линий тока и т.д.
- узкоспециализированные алгоритмы обработки данных: увеличение деформаций, модальный и гармонический анализ, обработка акустических датчиков и т.д.
- числовая обработка: расчет интегральных и экстремальных характеристик, калькуляция величин, построение зависимостей и графиков и пр.
- формирование отчетных и презентационных материалов, в том числе для стерео вывода
- возможность постобработки в параллельном режиме

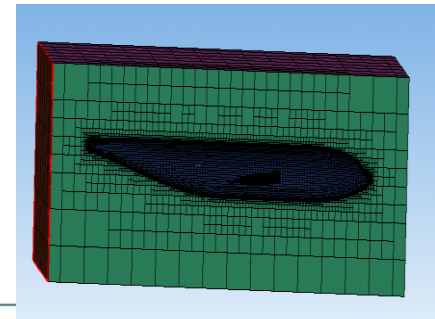
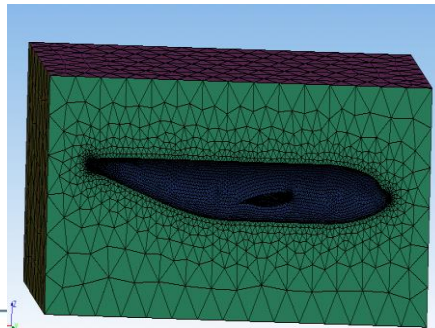
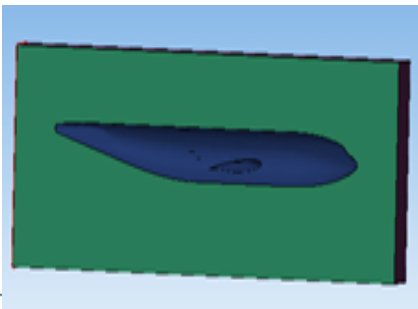
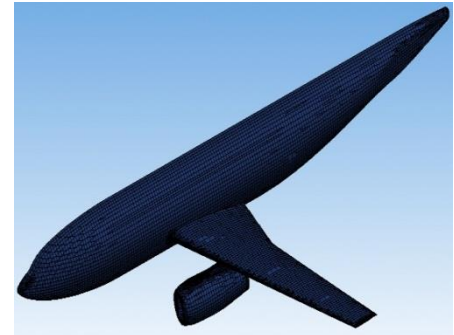
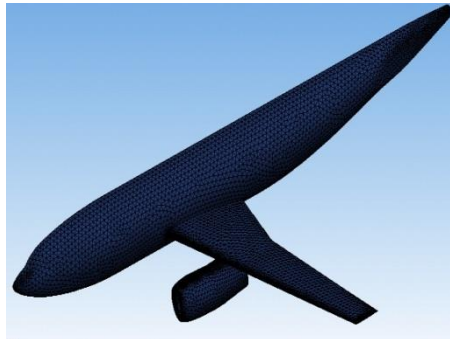


Шаги подготовки сеточной модели

- Импорт геометрии
- Формирование внешней области
- Диагностика и лечение геометрии
- Создание региона и формирование границ
- Задание параметров для генерации сеток
- Построение поверхностной сетки
- Построение объемной сетки

Сквозная цепочка построения сеточной модели для задач аэрогидромеханики

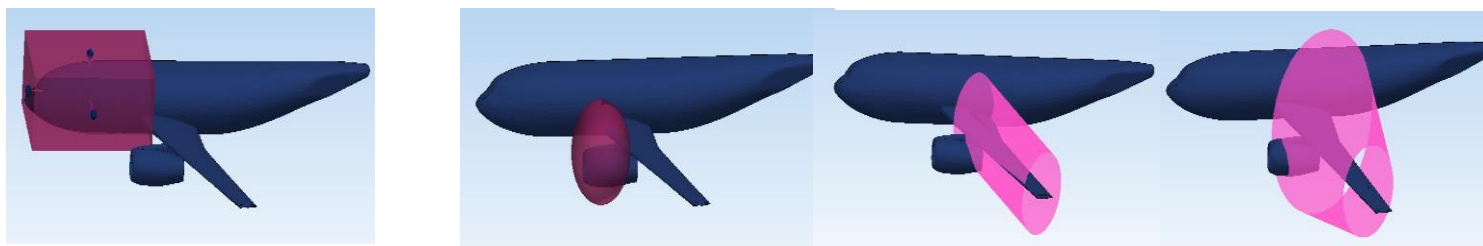
- Импорт и обработка геометрии
- Построение поверхностной сетки
- Построение объемной сетки



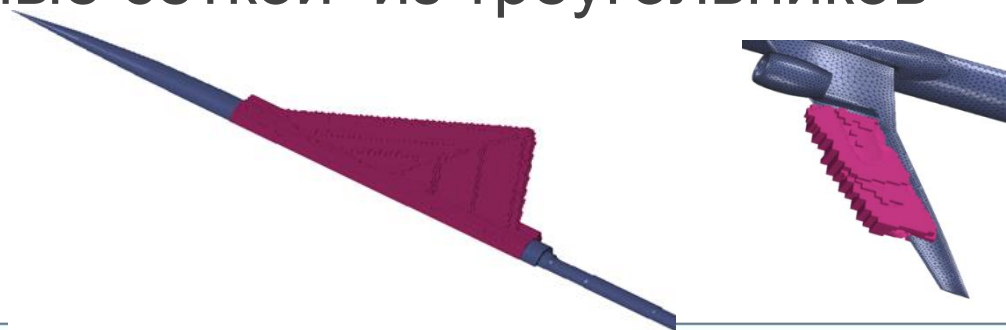
Возможности по адаптации ячеек поверхностных и объемных сеток

Варианты задания областей сгущения для адаптации
сеток:

- Контрольные области стандартных форм



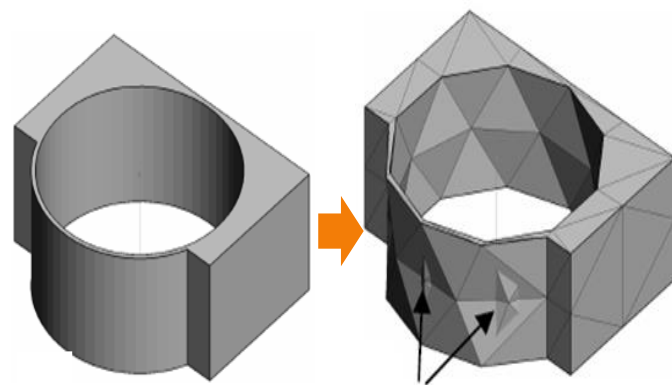
- Контрольные области произвольных форм,
заданные сеткой из треугольников



Возможности по автоматическому исправлению пересечений в поверхностной сетке

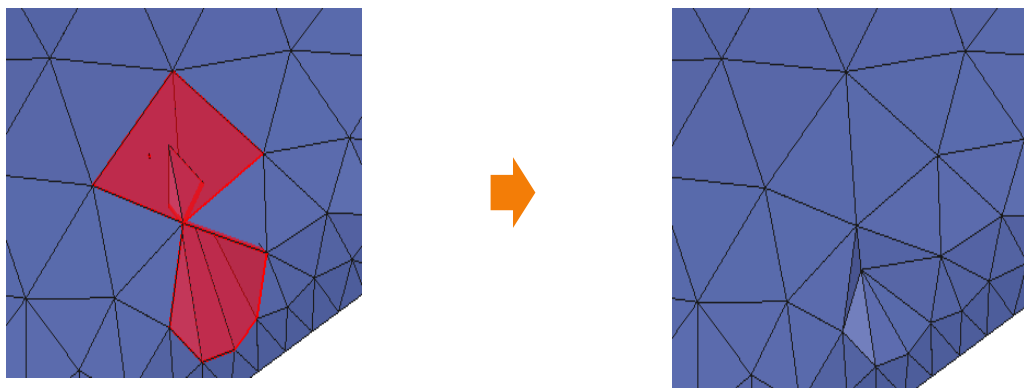
Источники пересечений:

- исходная сетка получена по некорректной CAD-модели или с помощью грубой тесселяции CAD-модели;
- поверхностная сетка построена с грубыми размерами.



Исправление с помощью:

- локальных операций;
- удаления сетки в области с пересечениями и затягиванием по свободному контуру.

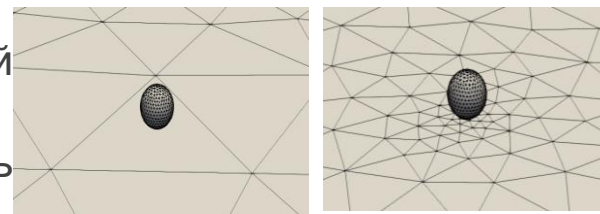


Возможности по построению сеток

- Учет близости поверхностей при построении поверхностной сетки
- Расширение возможностей по управлению работой генератора методом отсечения:
 - дополнительного измельчения ячеек сетки вдоль характерных кривых;
 - задание размера первой ячейки пограничного слоя.
- Построение анизотропных сеток на основе алгоритмов генерации методом отсечения
- Построение многогранной сетки преобразованием тетраэдральной сетки

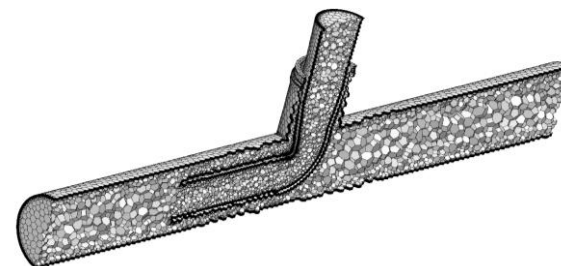
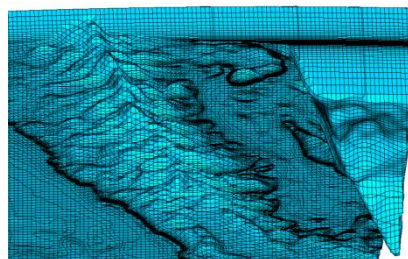
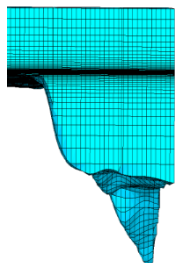
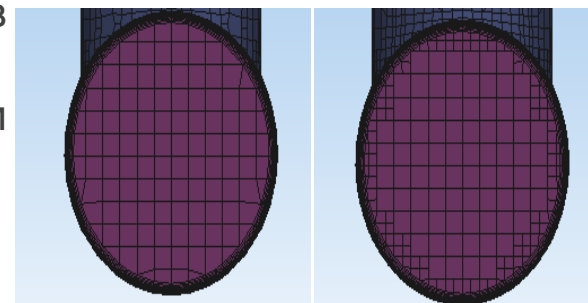
Без учета
близости

С учетом
близости



Без
дробления

С дроблением



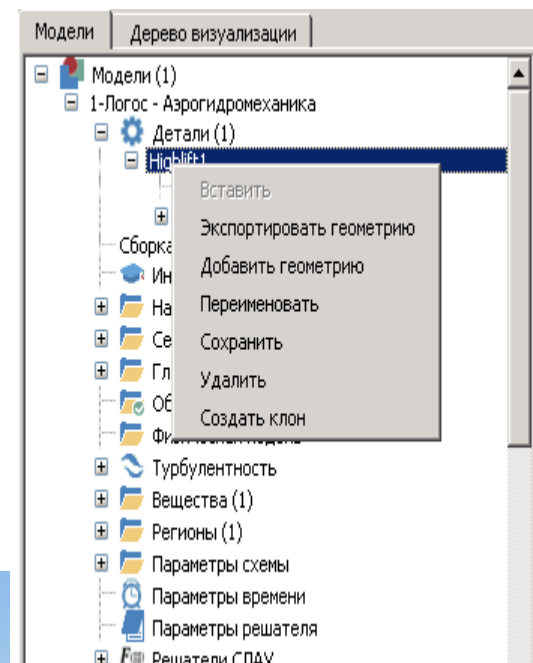
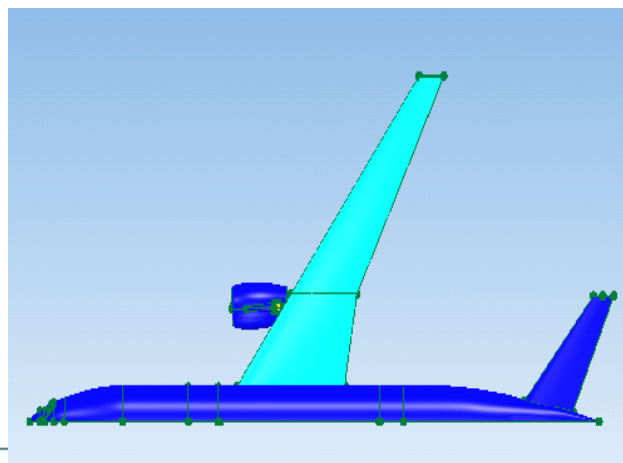
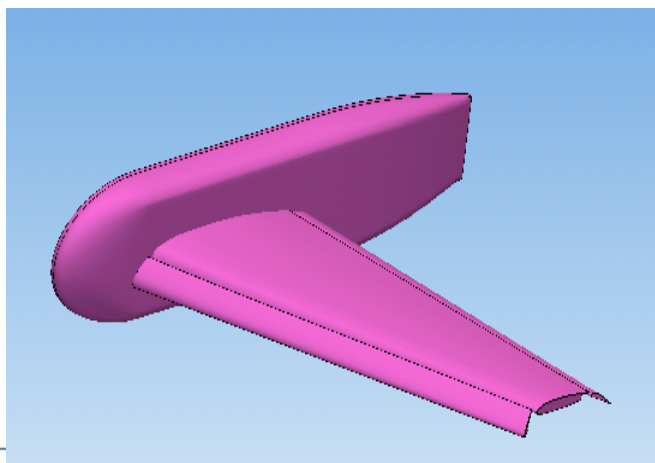
Импорт/Экспорт геометрии

Импорт:

STEP
IGES
VRML
STL
3DTransVidia XML

Экспорт:

STEP
IGES
VRML
STL
3DTransVidia XML



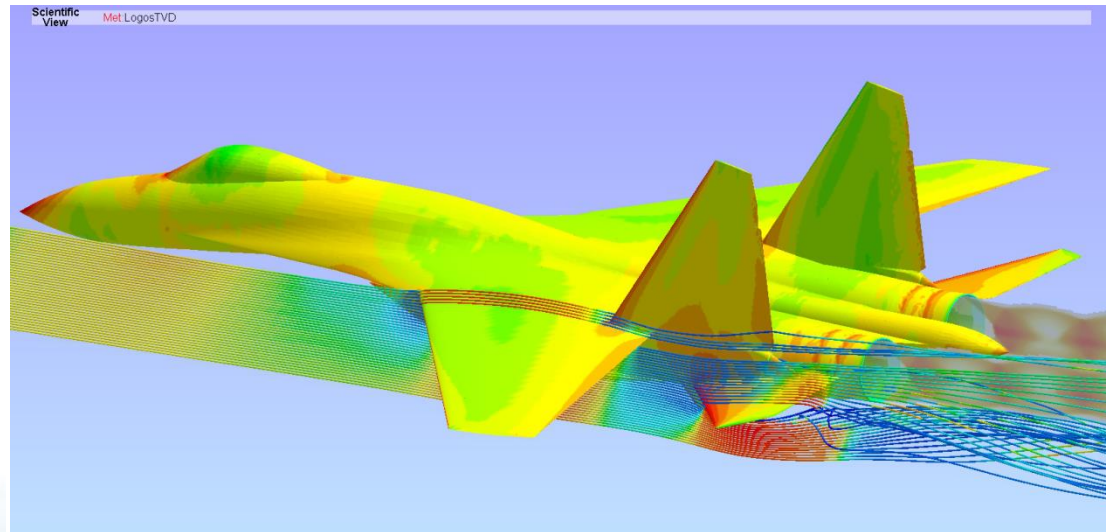
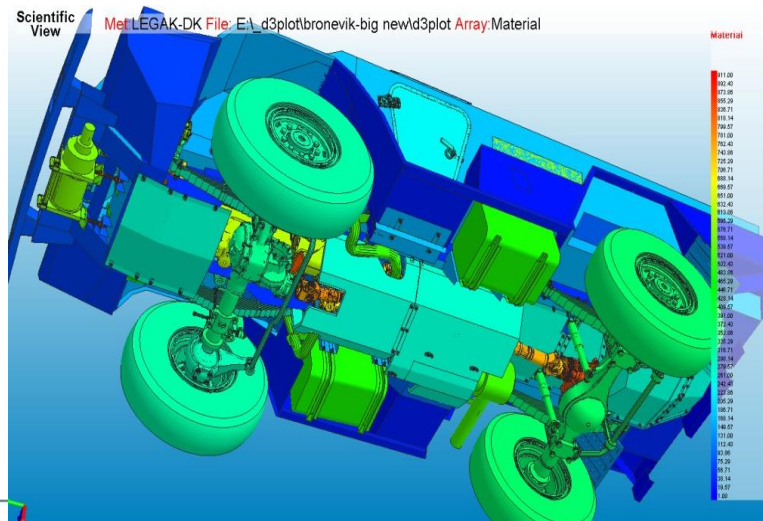
Структура объемной сетки и этапы построения

- Восстановление характерных кривых модели.
- Построение смещенной поверхностной сетки.
- Построение декартовой адаптивной сетки.
- Проведение отсечения адаптивных ячеек треугольниками смещенной поверхностной сетки.
- Улучшение качества отсеченных ячеек.
- Построение призматических ячеек.



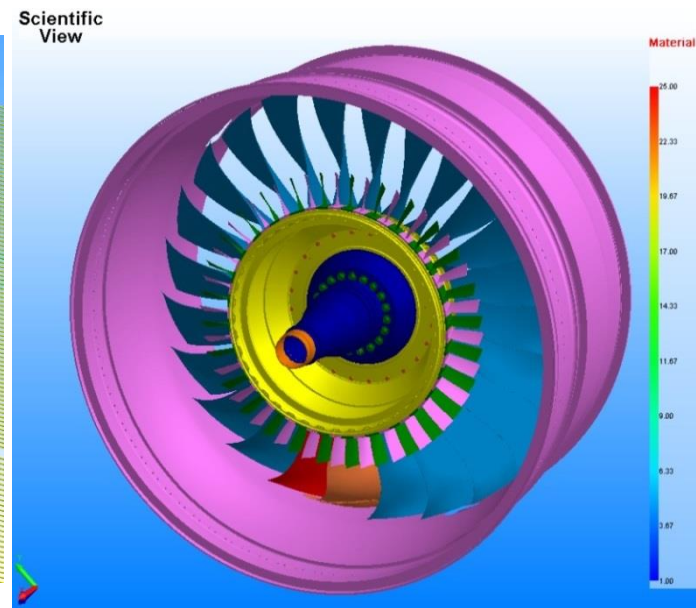
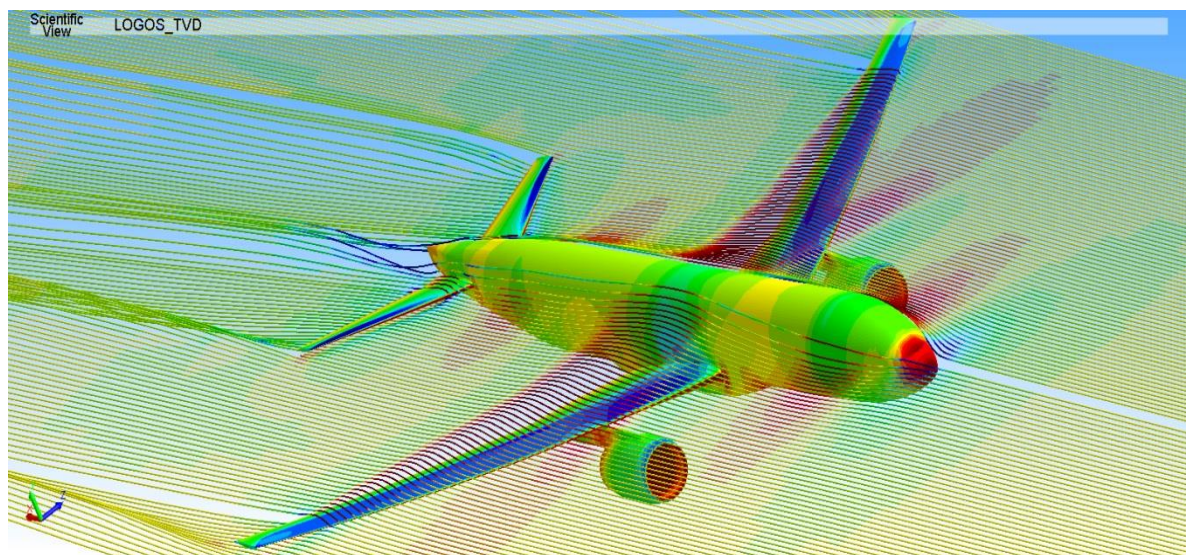
Обработка результатов моделирования

Предназначен для графической и числовой обработки результатов суперкомпьютерного моделирования



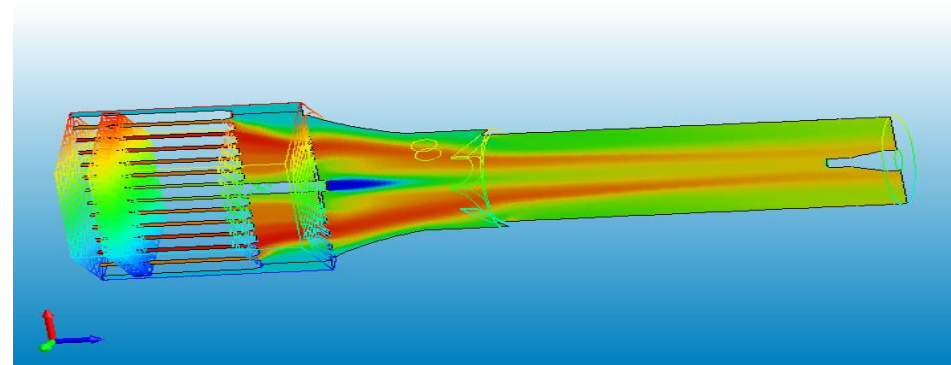
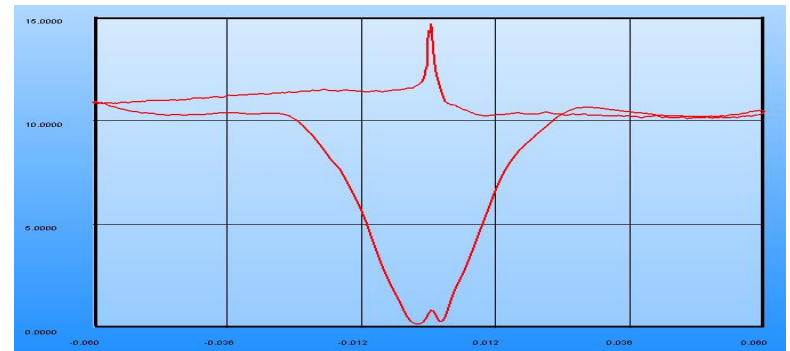
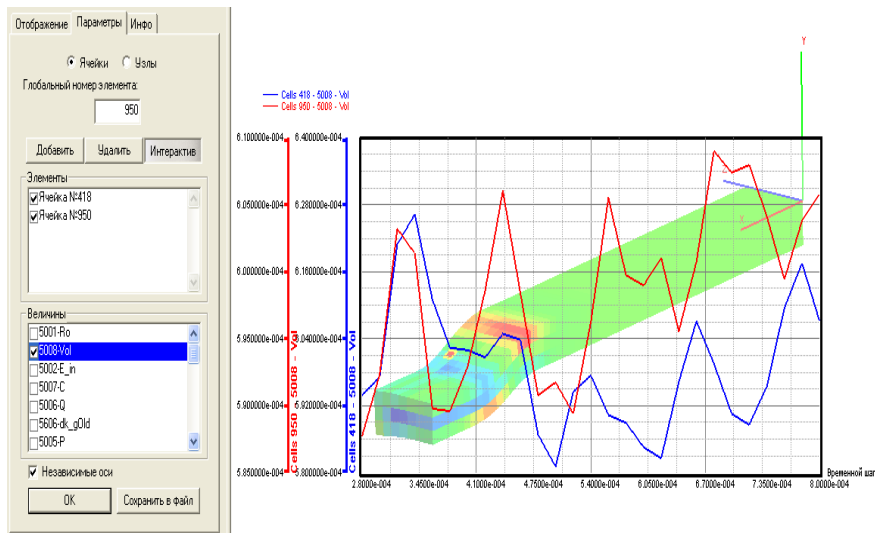
Способность обрабатывать данные, заданные на структурированных и неструктурированных сетках

Обработка результатов моделирования



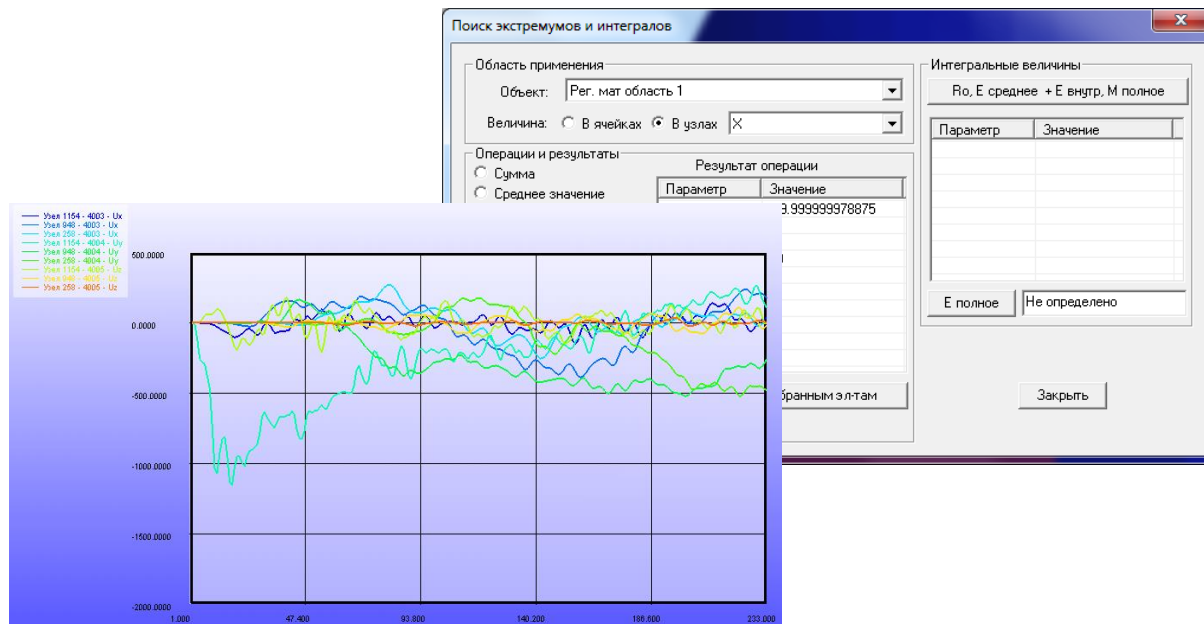
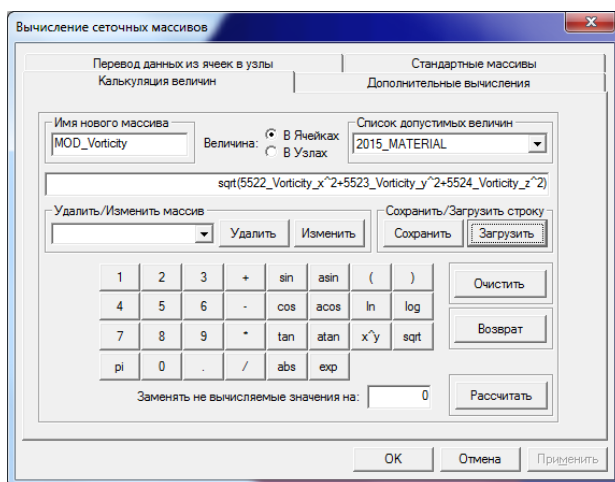
Более 30 алгоритмов широкого спектра применения: различные вырезы, скрытие пространства по ряду признаков, сечения, построение полей, изоповерхностей и изолиний, линий тока, алгоритмы для анализа качества топологии сетки и копирования/зеркалирования симметричных конструкций

Обработка результатов моделирования



- Узкоспециализированные алгоритмы, специально созданные для анализа результатов моделирования прикладных задач, в частности:
- построение турбоповерхностей для обработки моделирования турбомашин;
 - построение графиков акустического шума;
 - визуальное увеличение малых деформаций для задач прочности;
 - модальный и гармонический анализ прочностных задач.

Обработка результатов моделирования



- Построение зависимостей величин от времени, на поверхности объекта и вдоль пространственных кривых
- Расчет новых сеточных величин по имеющимся с использованием predetermined формул или через калькулятор.
- Поиск экстремумов, интегралов, расходных характеристик
- Анализ объектов, выбранных пользователем мышью

Реализованные модели турбулентности

Модели вихревой вязкости

1. k-ε модели: стандартная модель с законом стенки и для низких чисел Рейнольдса, RNG, Чена,...;
2. k-ω модели: стандартная и SST;
3. Модель Секундова;
4. V2f модель;
5. SA модель и ее модификации;
6. q-ω модель.

Модели напряжений Рейнольдса

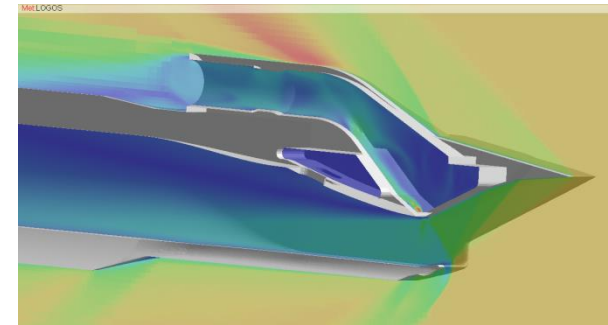
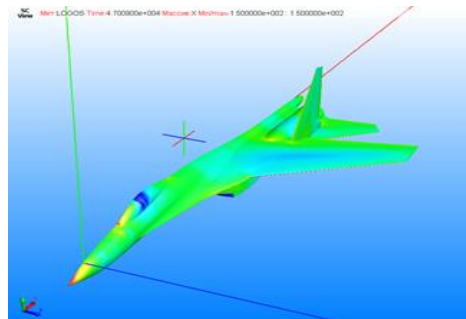
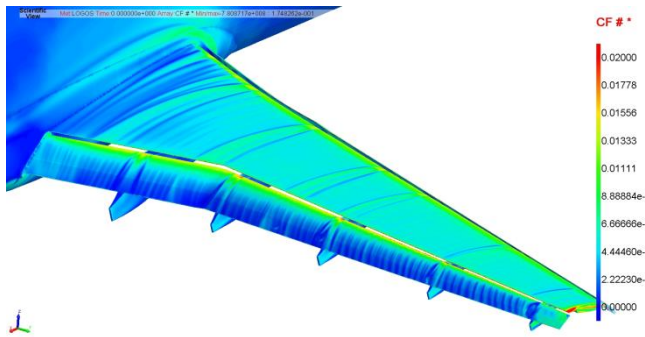
1. RSM

Модели крупных вихрей

1. LES
2. SA (DES/DDES/EDDES)
3. SST(DES/DDES/EDDES)

ЛОГОС-АЭРОДИНАМИКА

Решаемые задачи



Размерность моделей: 15 – 150 млн. ячеек

Доступные модели

Явные/Неявные схемы
Стационарные/нестационарные процессы
До/транс/сверхзвуковые скорости

RANS модели (SA, SST, RSM)

АЭРОДИНАМИКА/ГАЗОДИНАМИКА

Доступные опции по аэродинамики

1 SA, SST

2 SSG/LRR-RSM-w2012 (7 уравнений)

3 Low y^+ реализации и гибридные функции стенок для SA и SST. RSM только Low y^+ .

4 Моделирование шероховатости в рамках пристеночных функций

5 SST-GammaReTheta - обычная версия

6 Модель инея - частный случай модели Мессингера (Ice accretion on multi-element airfoils using extended Messinger model), модель льда - в разработке (2020-2021)

7 Аэроупругость - Связь Модуля аэродинамики и прочности.

АЭРОДИНАМИКА/ГАЗОДИНАМИКА

Публикации

- Сетки с перекрытиями - ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ МЕТОДИКИ РАСЧЁТА НА СЕТКАХ ТИПА «ХИМЕРА» ДЛЯ НЕСТРУКТУРИРОВАННЫХ СЕТОК // Мат моделирование 2017 том 29
- Термокомфорт Н.Г. Галанов, Р.Н. Жучков Моделирование теплокомфорта человека средствами программного комплекса «ЛОГОС» // Журнал ВАНТ, сер. Математическое моделирование физических процессов. 2018. Вып. 2. С. 62-71
- Козелков А.С., Жучков Р.Н., Уткина А.А., Володченкова К.Б. Построение схемы повышенного порядка точности для расчета отрывных течений и задач аэроакустики // журнал «ВАНТ». 2014. Т.3.
- Жучков Р.Н., Уткина А.А. Объединение дифференциальной модели рейнольдсовых напряжений SSG/LRR-w с моделями отсоединенных вихрей и ламинарно-турбулентного перехода // журнал «Механика жидкости и газа». 2016. Т. 51. №6.
- Стрелец Д.Ю., Корнев А. В., Козелков А.С., Останко Д.А., Уткина А.А. Исследование трансзвукового обтекания летательных аппаратов с использованием различных численных моделей турбулентности // Журнал «Полет», 2017, № 9-10, С. 12-19
- Deryugin Yu.N., Emel'yanova Ya.V., Zhuchkov R.N., Utkina A.A. Hybrid Dissipation Scheme as Applied to Computational Aeroacoustics // Computational Mathematics and Mathematical Physics. – 2018. – Vol. 58, Issue 9. – PP.1426-1434.
- Стручков А.В., Козелков А.С., Жучков Р.Н., Уткина А.А., Саразов А.В. Численное моделирование задач аэродинамики со статической адаптацией сетки под особенности решения // журнал «ВАНТ». 2019. Т.2. С. 55-67

ЛОГОС-Аэродинамика. Новые возможности

Модель обледенения - Модель Мессингера

Допущение модели:

- диаметр капли $D_{part} \leq 500$ мкм;
- капля сохраняет сферическую форму;
- жидкая фаза не влияет на газ;
- на капли действуют лишь сила сопротивления и сила тяжести;
- лёд полностью соприкасается с поверхностью;
- температура непрерывна на границе раздела льда.

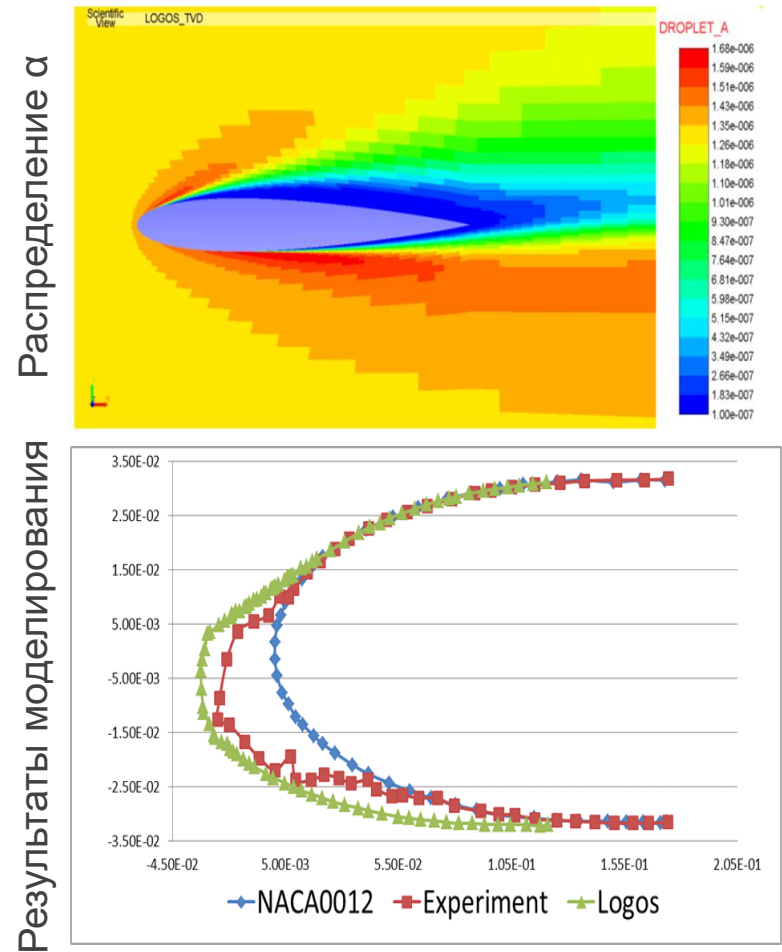
$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{k_i}{\rho_i C_{pi}} \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \\ \frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{k_i}{\rho_w C_{pw}} \frac{\partial^2 \theta}{\partial y^2} \\ \rho_i \frac{\partial B}{\partial t} + \rho_w \frac{\partial h}{\partial t} = \rho_a \beta V_\infty + \dot{m}_{in} - \dot{m}_{e,s} \\ \rho_i L_F \frac{\partial B}{\partial t} = k_i \frac{\partial T}{\partial y} - k_w \frac{\partial \theta}{\partial y} \end{array} \right.$$

ЛОГОС-Аэродинамика. Новые возможности

Модель облединения - Модель Мессингера

Процесс образования инея на профиле NACA 0012

- число Маха = 0.184893;
- статическое давление $P = 95610$ Па;
- статическая температура $T = 245.35$ K;
- угол атаки 4° ;
- молекулярная вязкость $\mu = 1.75e - 5$ Па·с;
- объёмная доля жидкой фазы $\alpha = 1.303e - 6$;
- осреднённый диаметр капель $D_{part} = 2.0e - 5$ м;
- шаг по времени 0.5 с;
- длительность 480 секунд;
- SA модель турбулентности.

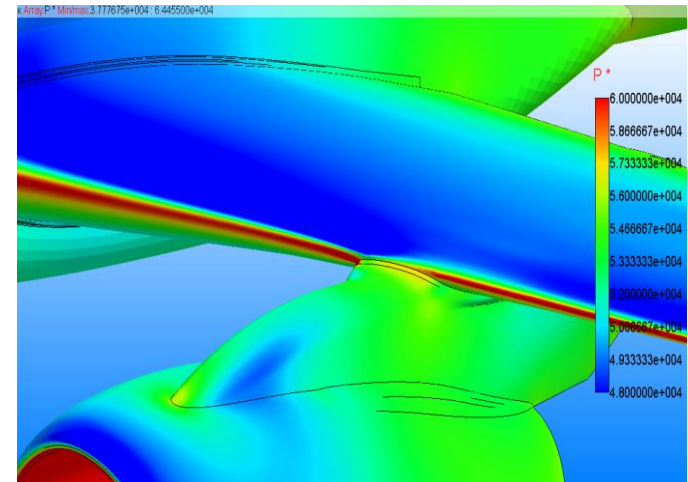


ЛОГОС-Аэродинамика. Новые возможности Модель облединения - Модель Мессингера

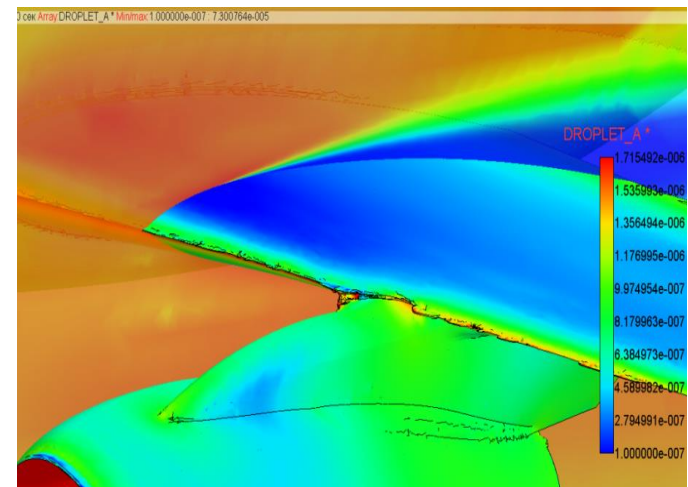
Процесс образования инея на современном гражданском самолёте

- число Маха = 0.5;
- статическое давление $P = 54048.03$ Па;
- статическая температура $T = 255.676$ K;
- угол атаки 2° ;
- объёмная доля жидкой фазы $\alpha = 1.303e - 6$;
- осреднённый диаметр капель $D_{part} = 2.0e - 5$ м;
- количество ячеек ~15 млн.;
- шаг по времени 0.5 с;
- количество ядер – 240;
- время расчёта – 24 часа.

Исходная модель



Модель с наростами инея



ЛОГОС-Аэродинамика. Новые возможности Модель горения

Горение и гиперзвук

1 Высокоскоростная аэродинамика - полиномиальная зависимость $C_p(T)$, химические реакции (механизм задает пользователь, мы используем Dunn/Kang), Физическая кинетика – учитывает колебательные степени свободы.

Реализована модель для O_2 , N_2 , NO

2 Турбулентное горение: используется подход Магнуссена для оценки скорости химических реакций в турбулентном потоке, реакции задает пользователь

Уравнение переноса
колебательной энергии

$$\frac{\partial \rho_i \varepsilon_{ik}^v}{\partial t} + \text{div} \cdot (\rho_i \varepsilon_{ik}^v \vec{V}) = -\text{div} \vec{I}_{ik}^v + \rho_i \dot{\varepsilon}_{ik}^v$$

Моделирование гиперзвукового
обтекания конуса M=27

Начало шага

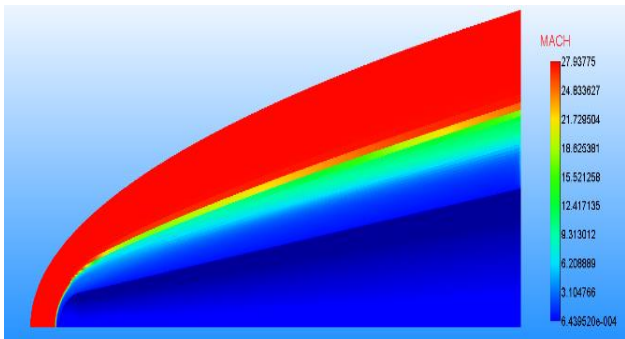
Интегрирование
уравнений
движения

Интегрирование уравнений
химической кинетики

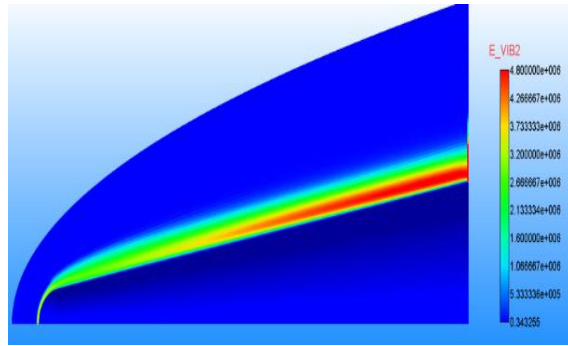
Интегрирование уравнений
физической кинетики
(колебательные степени
свободы
для N2, O2, NO)

Интегрирование уравнений
модели турбулентности

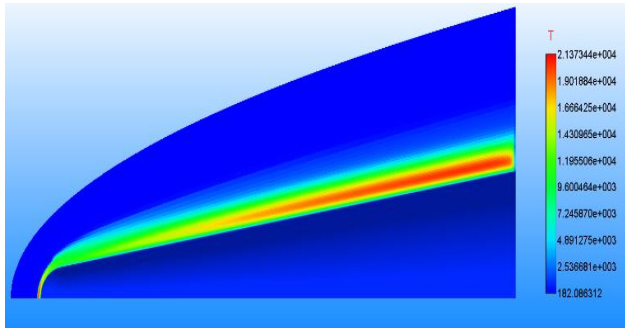
Конеч
шага



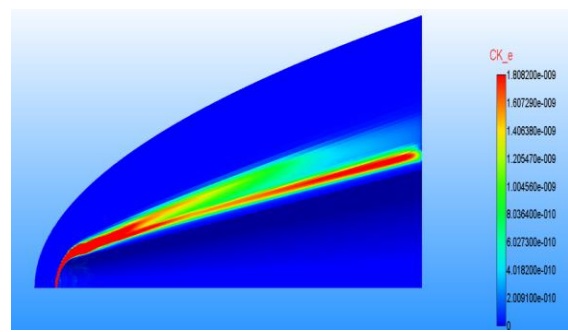
Распределение числа Маха



Колебательная энергия
компонента NO



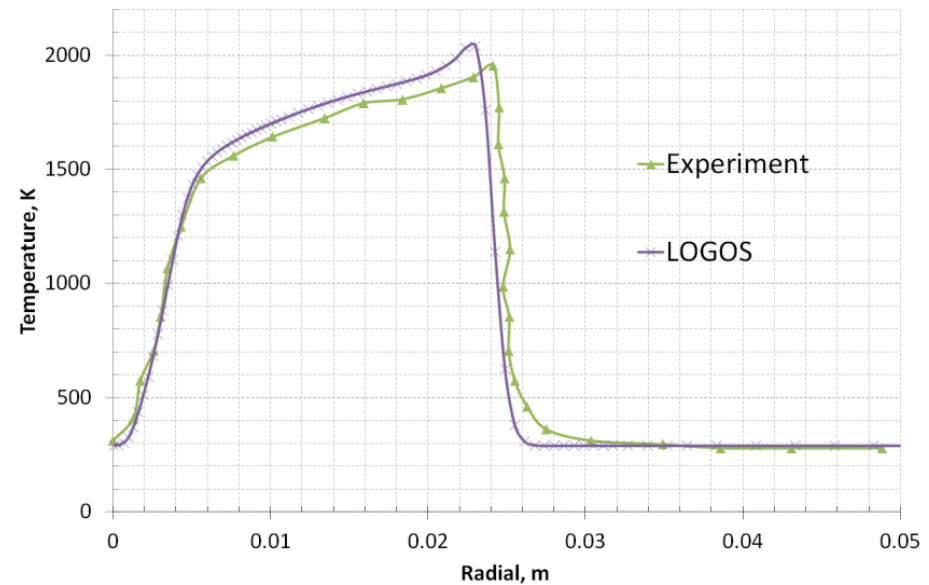
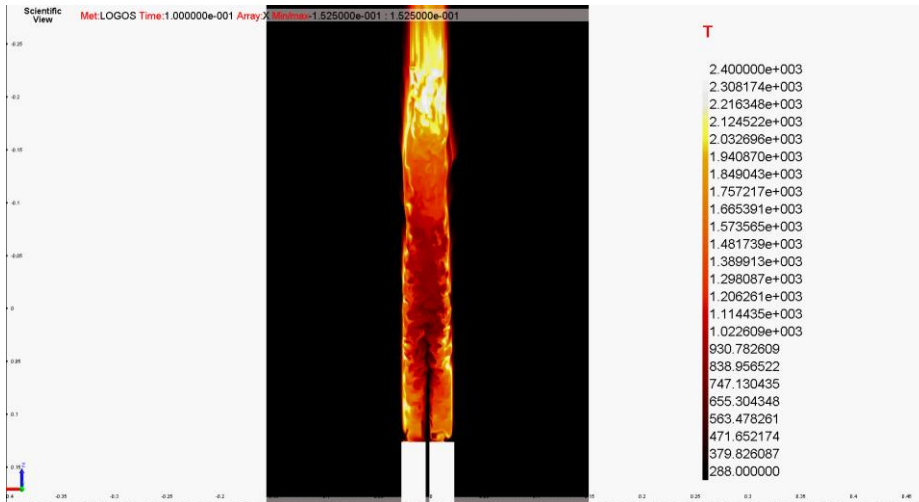
Температура



Концентрация электронов

ХИМИЧЕСКАЯ КИНЕТИКА

Модели турбулентного горения

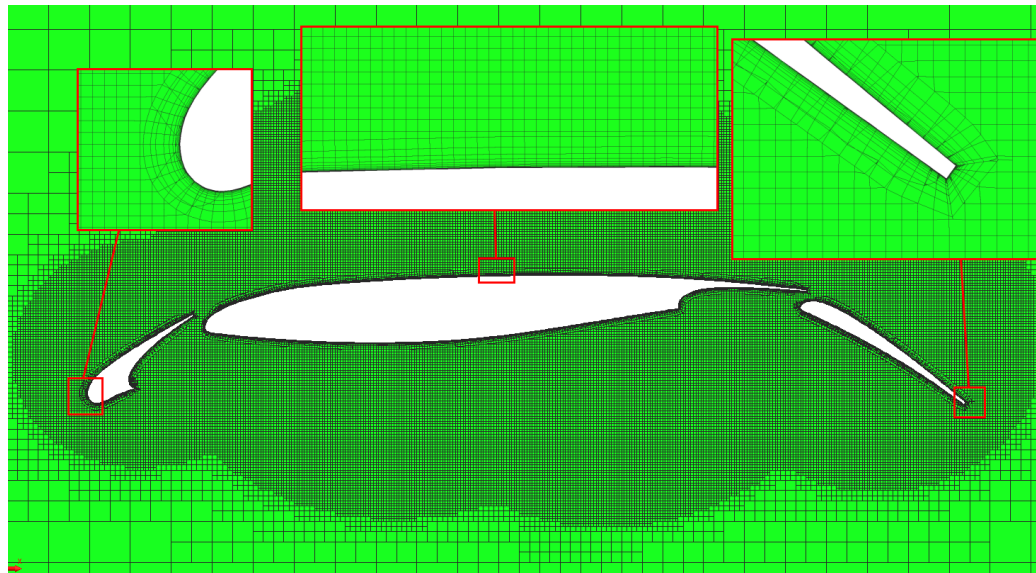


Доступные модели

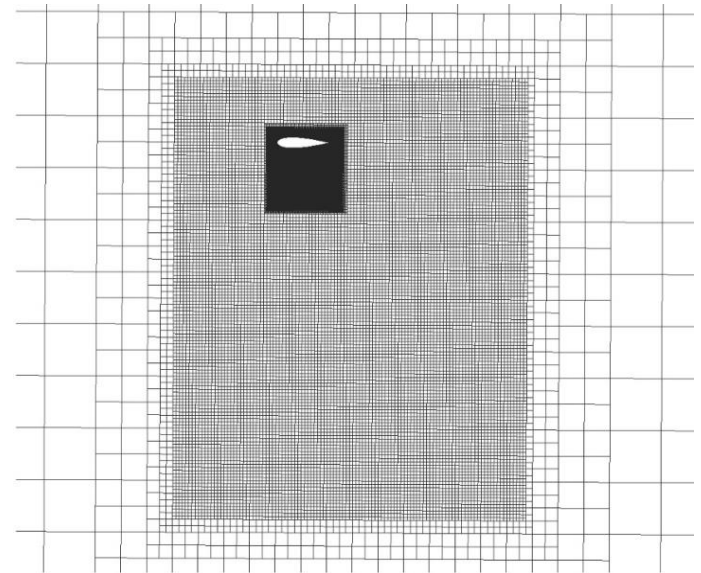
Laminar finite rate
Eddy-Break Up
Eddy Dissipation Concept

Стационарные/нестационарные процессы

Расчетные сетки

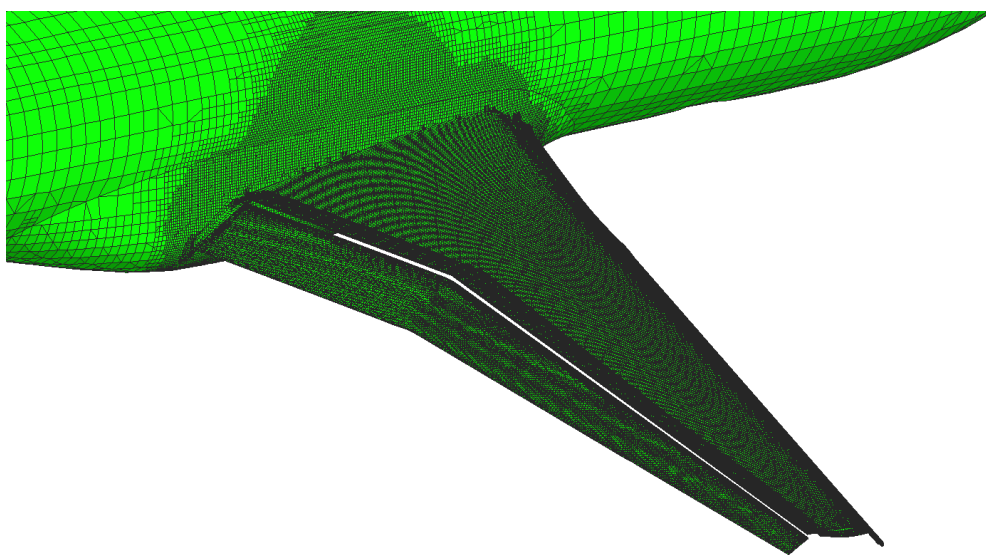


Усеченные шестигранники с
пограничными слоями

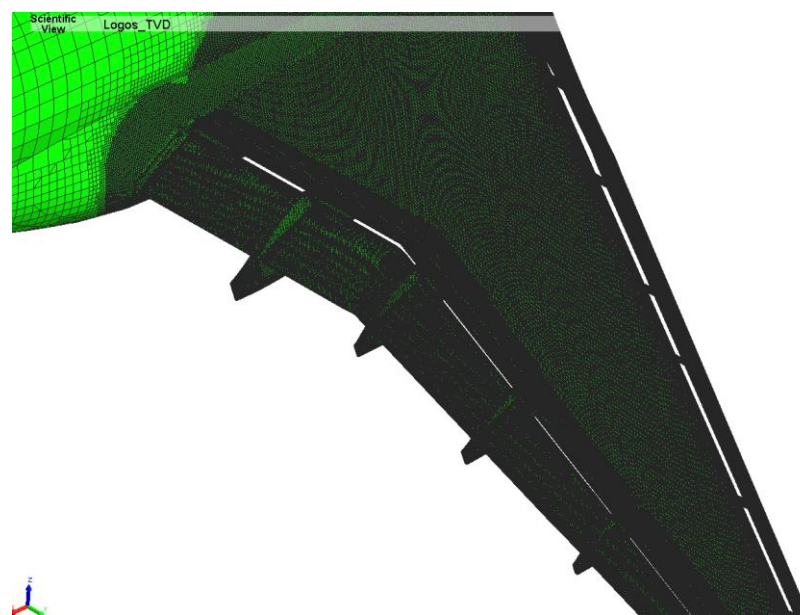


Выделение локальных
областей

HIGH LIFT PREDICTION WORKSHOP 2



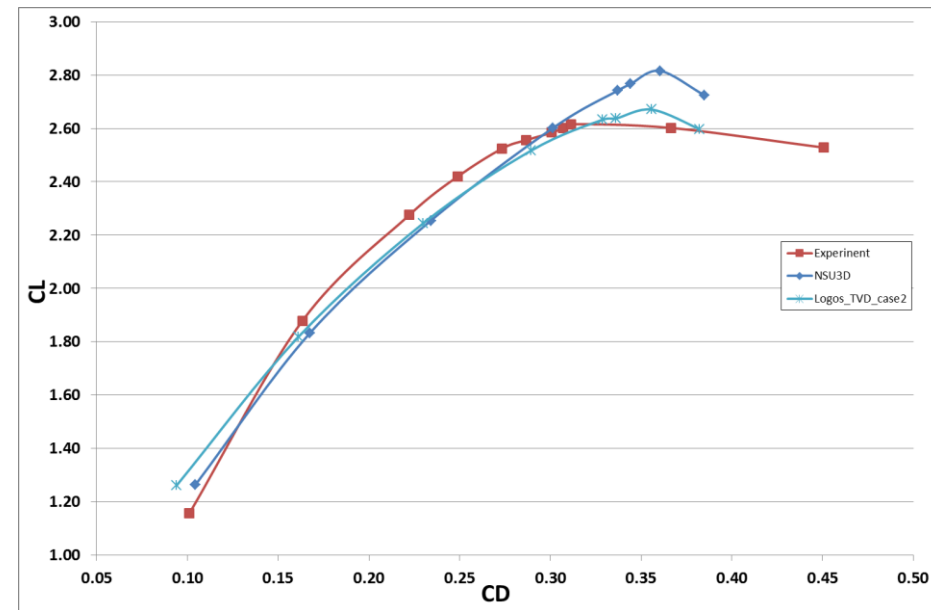
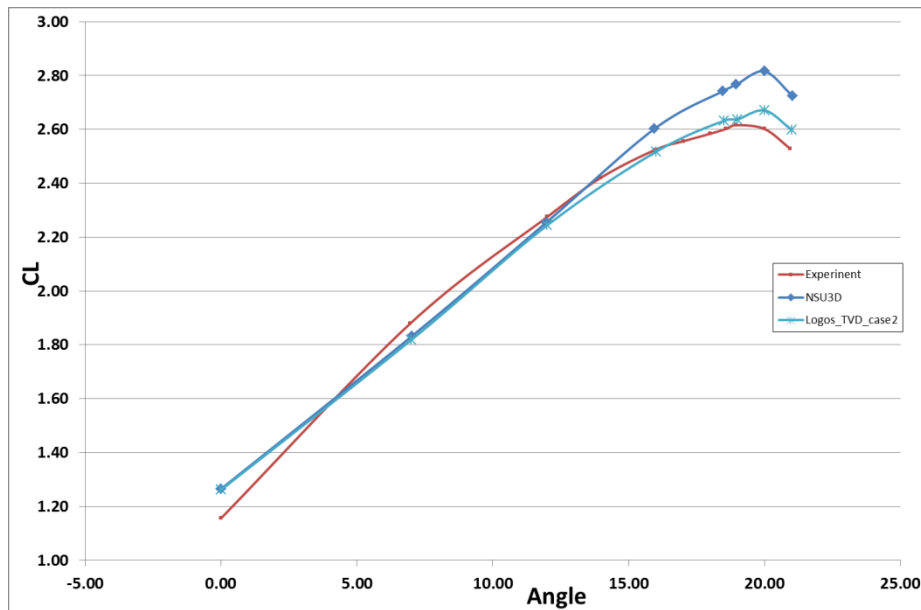
Размерность: 32 млн. - 160
млн. ячеек



Размерность: 56 млн. ячеек

АЭРОДИНАМИКА/ГАЗОДИНАМИКА

HIGH LIFT PREDICTION WORKSHOP 2



Число Маха: 0.175

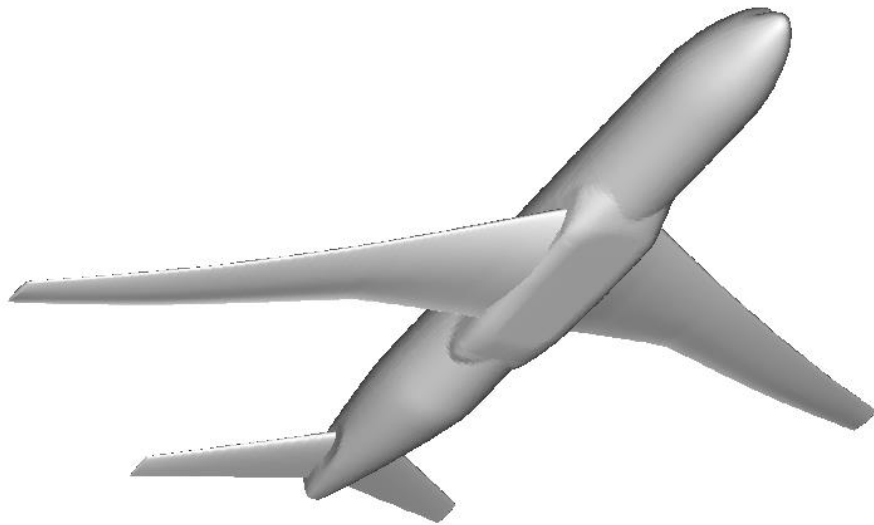
Модель турбулентности: SA

Количество ядер: 700

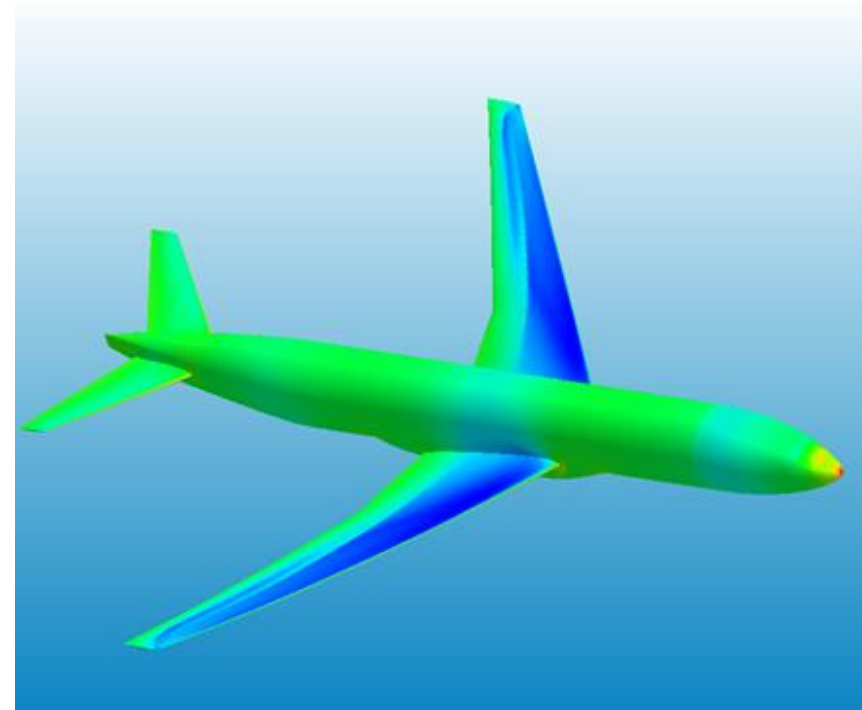
Время расчета: 10 часов

АЭРОДИНАМИКА/ГАЗОДИНАМИКА

DRAG PREDICTION WORKSHOP 4



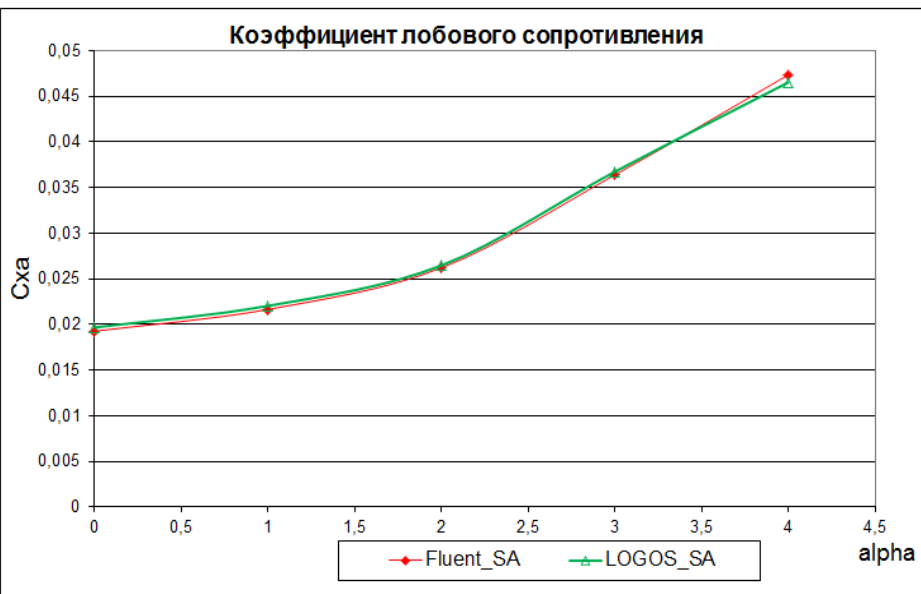
Размерность: 10 млн.
Количество ядер: 240
Время расчета: 3 часа



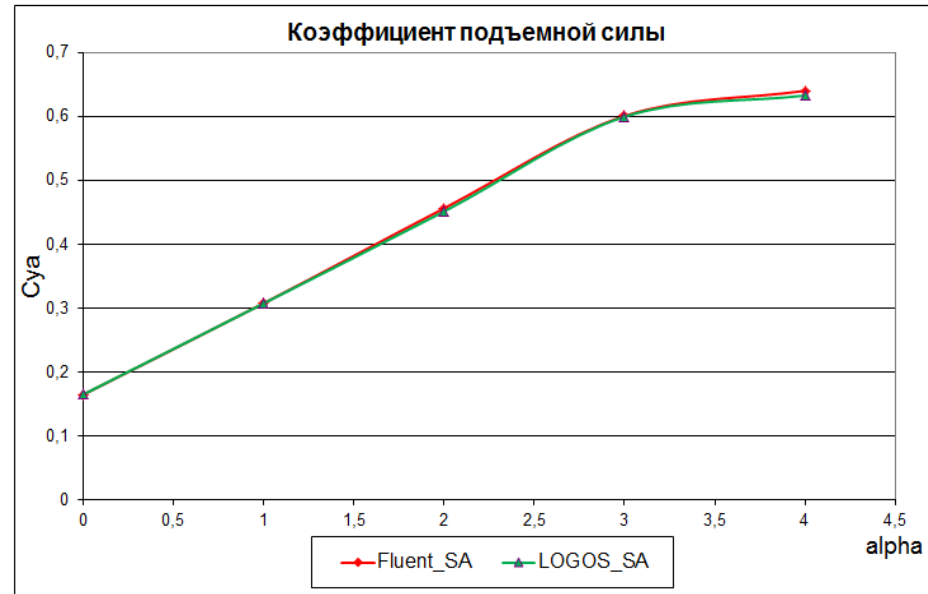
АЭРОДИНАМИКА/ГАЗОДИНАМИКА

DRAG PREDICTION WORKSHOP 4

Коэффициент лобового сопротивления

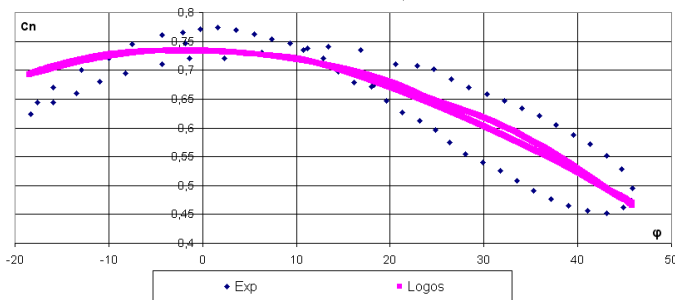
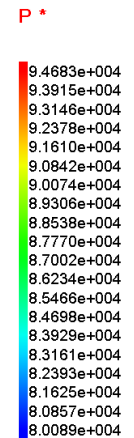
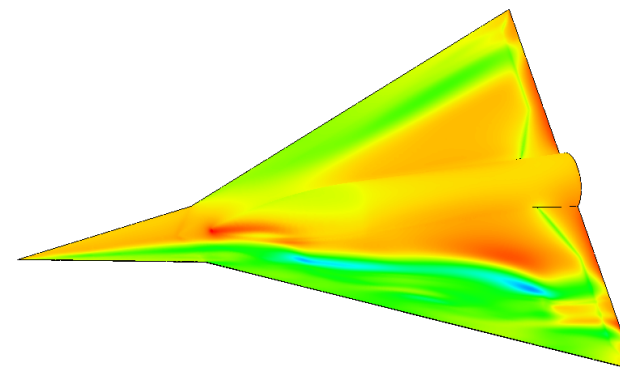
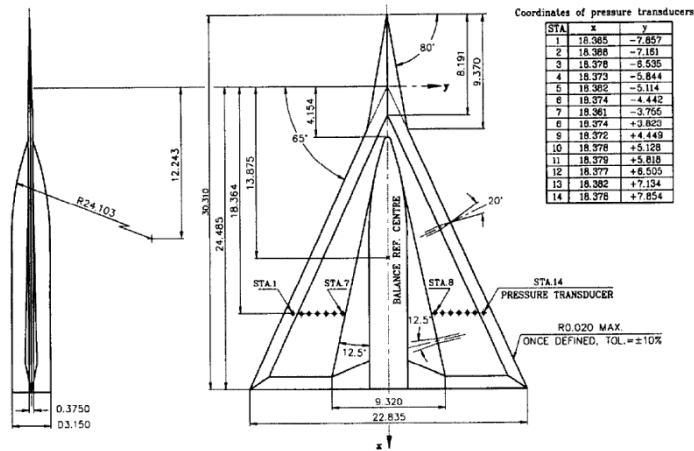


Коэффициент подъемной силы

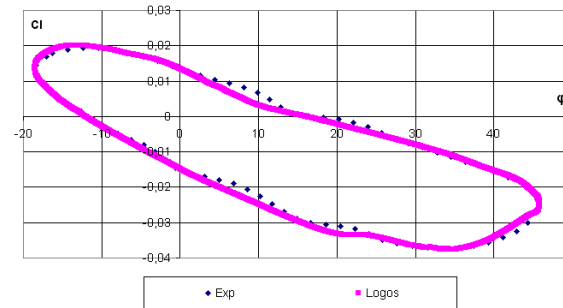


АЭРОДИНАМИКА/ГАЗОДИНАМИКА

Расчет нестационарных АДХ типа “двойная дельта”



Коэффициент нормальной силы



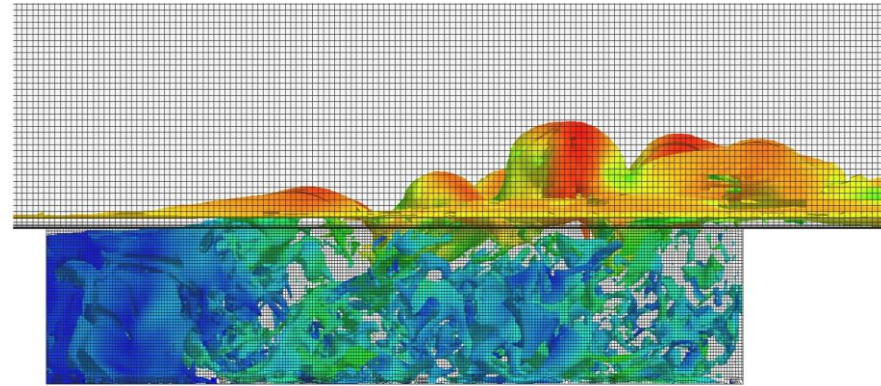
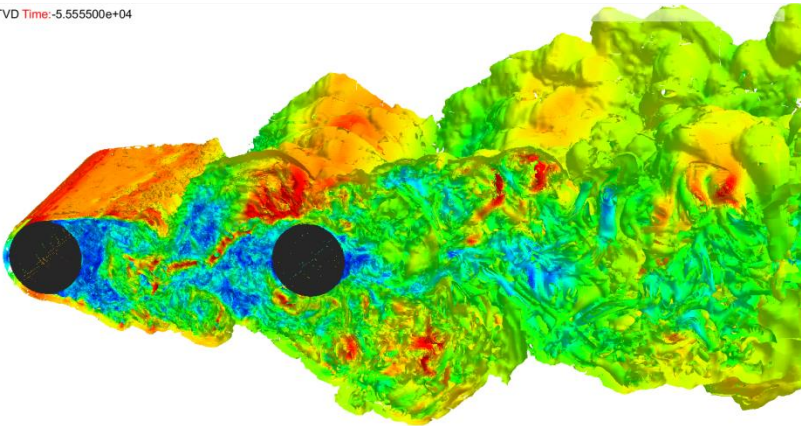
Коэффициент момента

Число Маха: 0.3
Количество ядер: 700
Время расчета: 10 часов
Размерность: 8 млн.

АКУСТИКА

Решаемые задачи

Scientific View Met.LogosTVD Time:-5.555500e+04



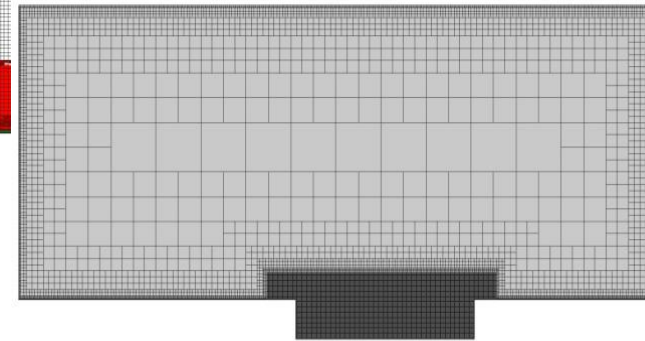
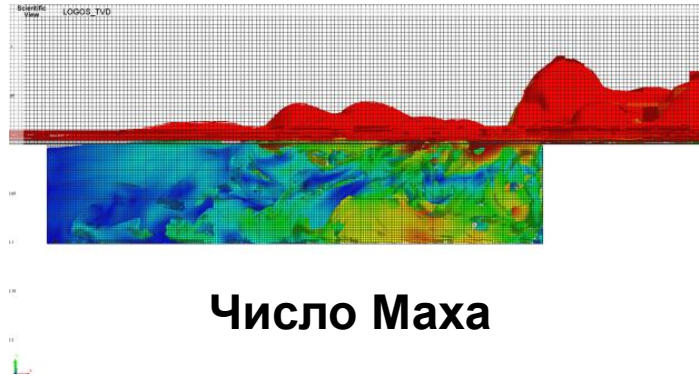
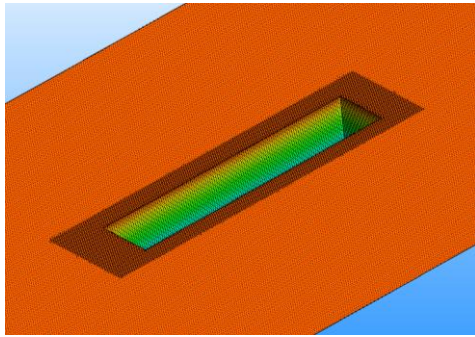
Доступные модели

Ближнее поле: SA/SST(DES/DDES/EDDES)

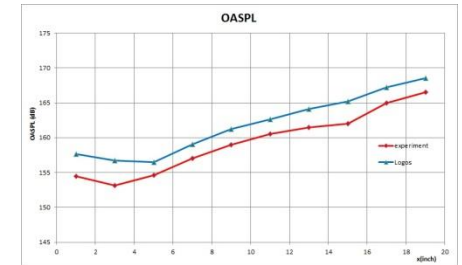
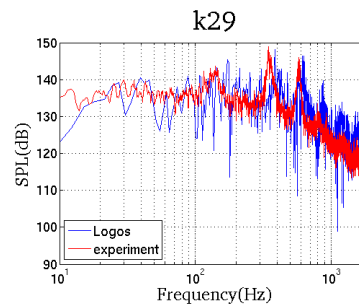
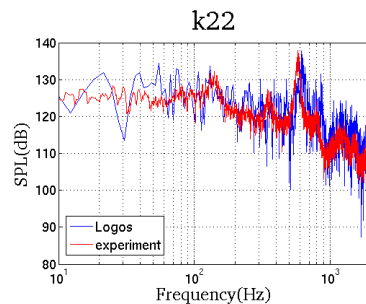
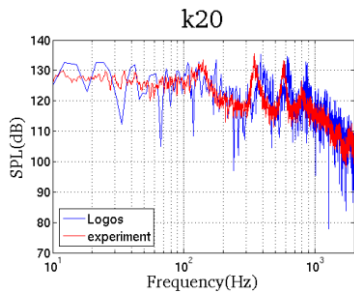
Дальнее поле: FWH (метод Фокса Вильямса-Хокингса)

АКУСТИКА

Расчет обтекания прямоугольной каверны M219 трансзвуковым потоком



Число Маха

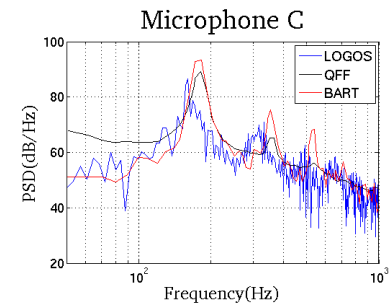
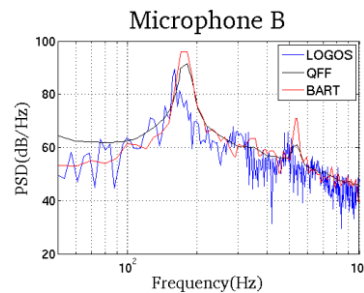
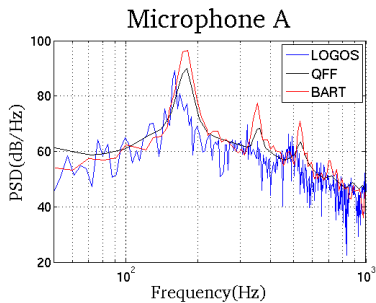
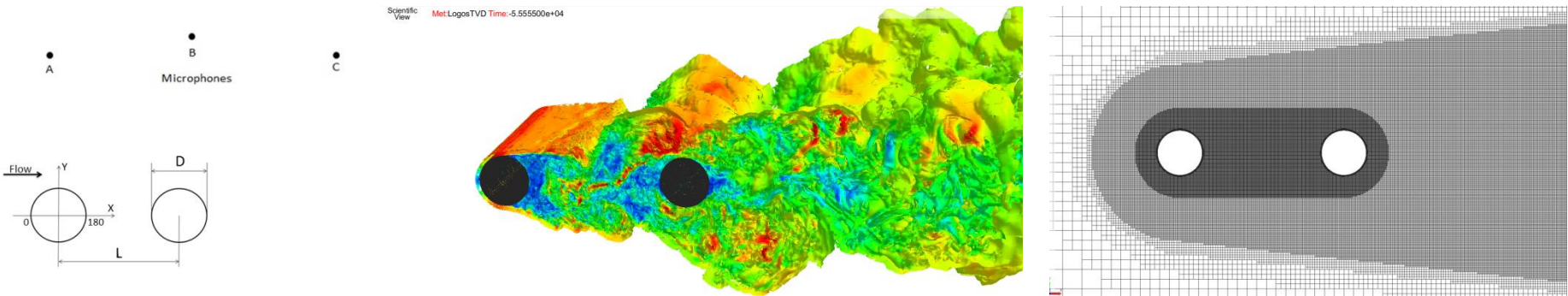


Нагрузки на дно каверны

Размерность: 6 млн. Количество ядер: 480 Время расчета: 48 часов

АКУСТИКА

Расчет обтекания тандема цилиндров

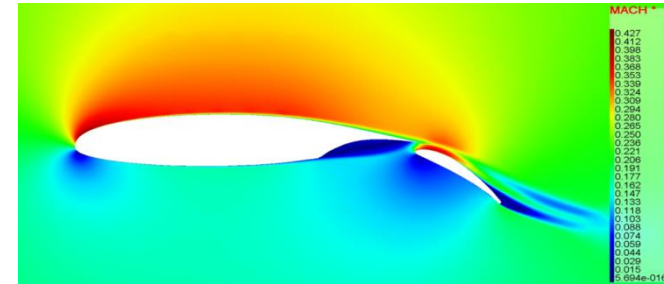
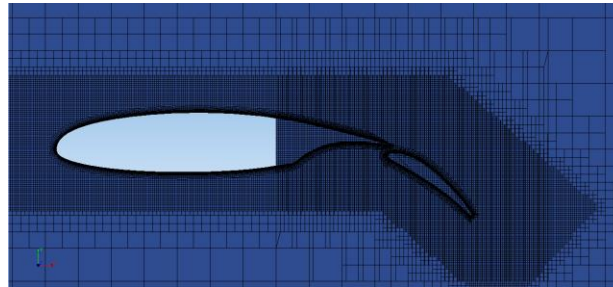
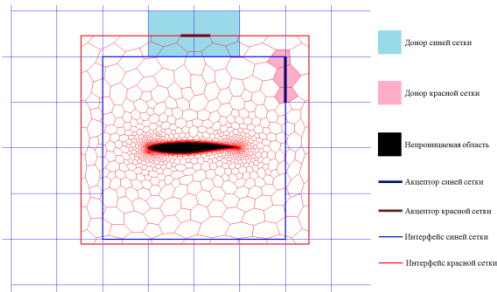


Акустическое давление в контрольных точках

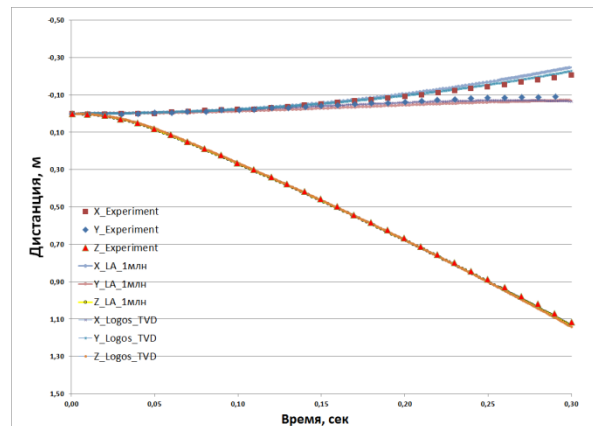
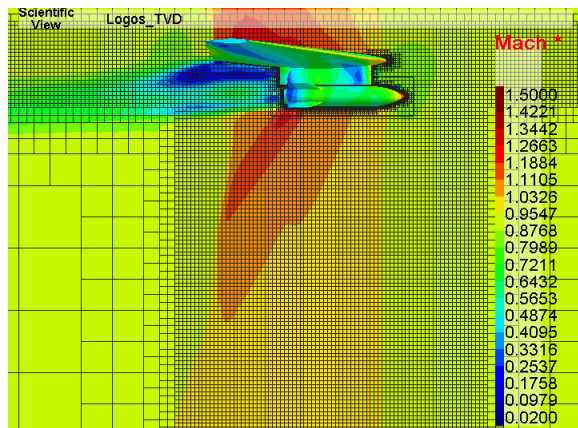
Размерность: 30 млн. Количество ядер: 2400 Время расчета: 21 сутки

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ

Сетки с перекрытиями



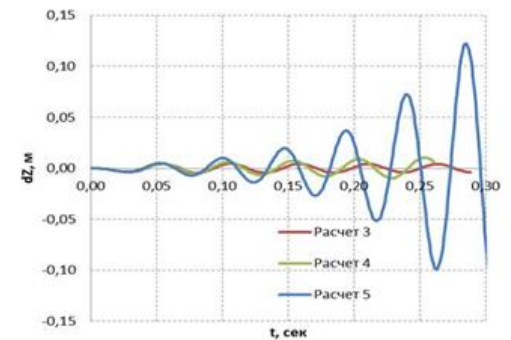
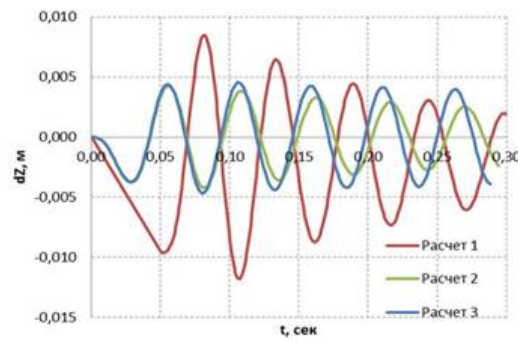
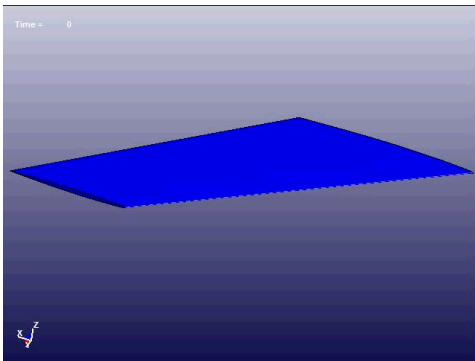
Модель подвижного тела



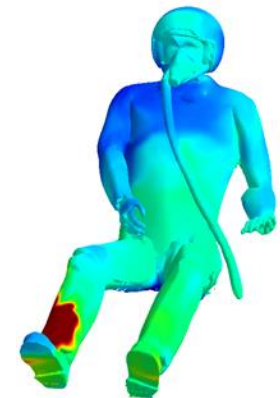
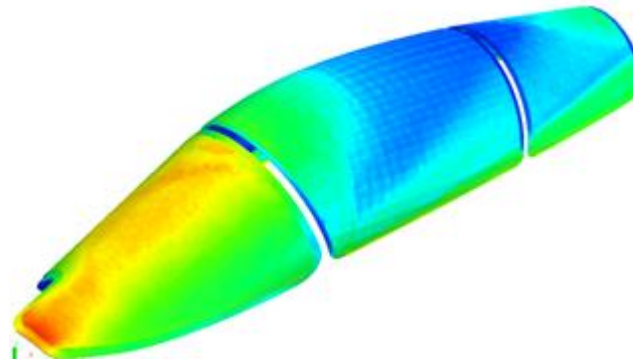
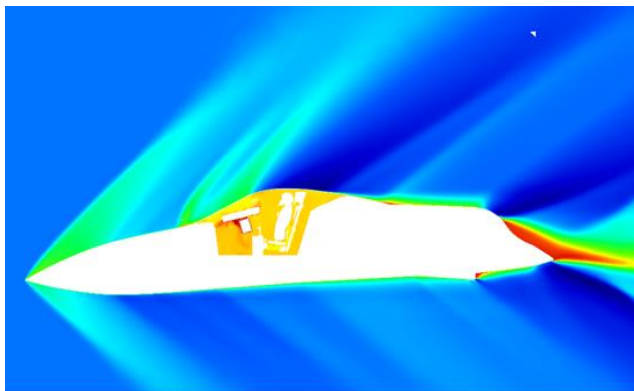
Нестационарный расчёт;
Трансзвуковой режим ($M = 0.95$);
Наличие силы тяжести;
Учёт аэродинамических сил;
Учёт воздействия катапульты;

СВЯЗАННЫЕ ЗАДАЧИ

АЭРОДИНАМИКА+ПРОЧНОСТЬ

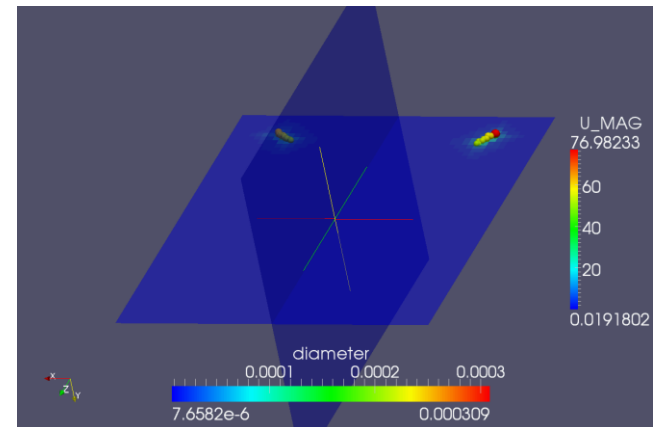
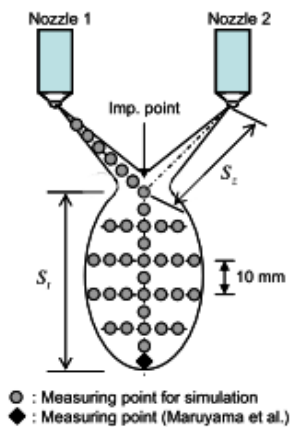


АЭРОДИНАМИКА+ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ

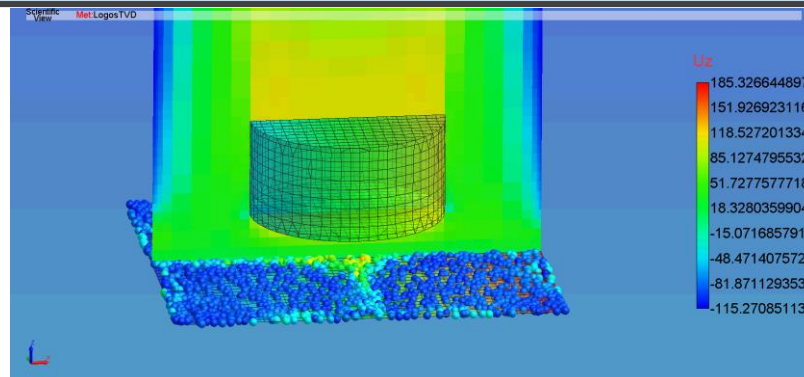


КАПЕЛЬНО-ДИСПЕРСНЫЕ СРЕДЫ

Учет движения капель

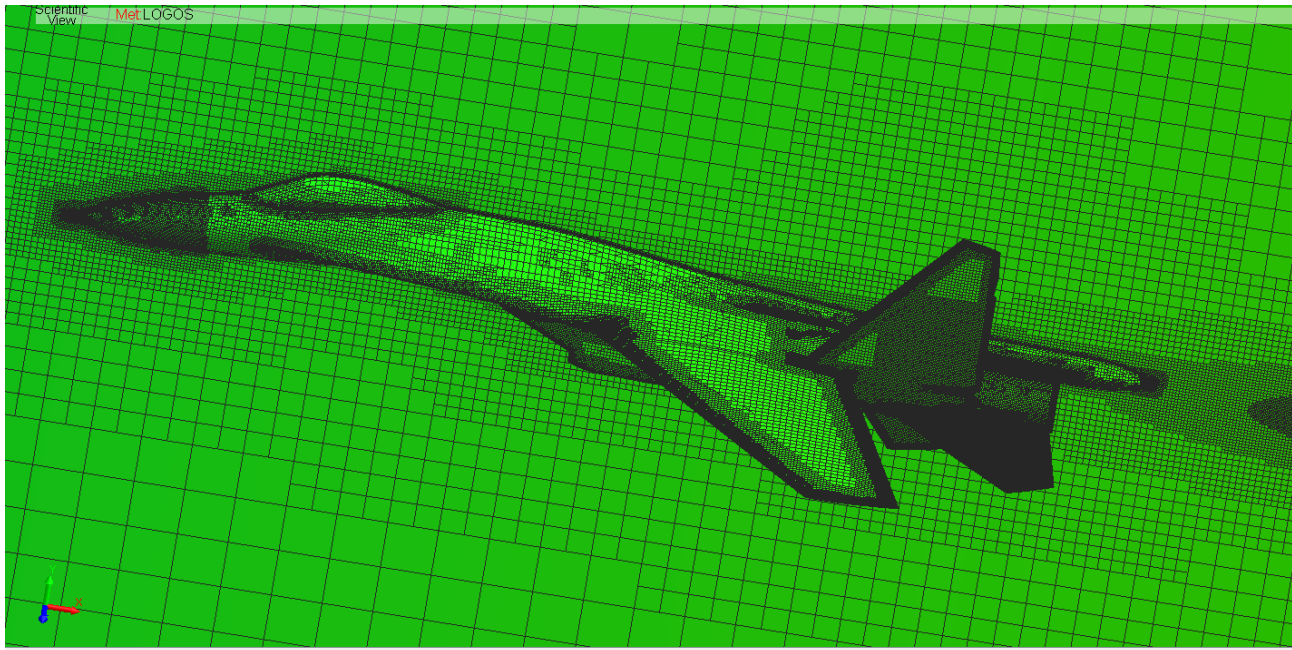


Учет движения твердых частиц



АЭРОДИНАМИКА/ГАЗОДИНАМИКА

АДХ маневренного самолета



Число Маха: 0.8-2.0

Углы атаки: 0-10°

Углы отклонения
органов управления

Количество ячеек: 25 млн.

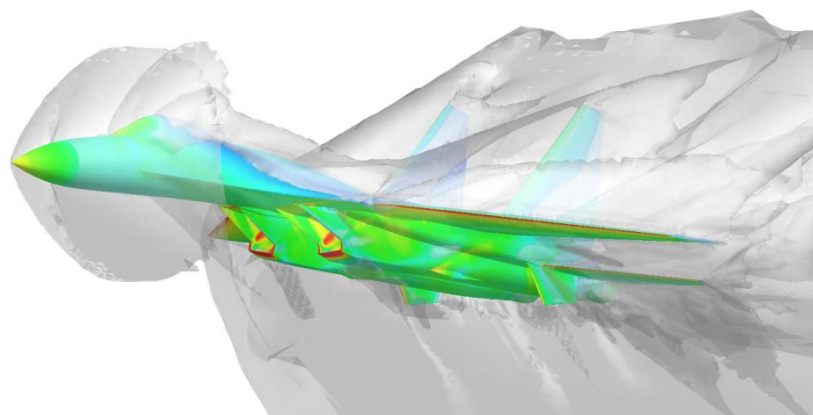
15 призматических слоев

Количество ядер: 240

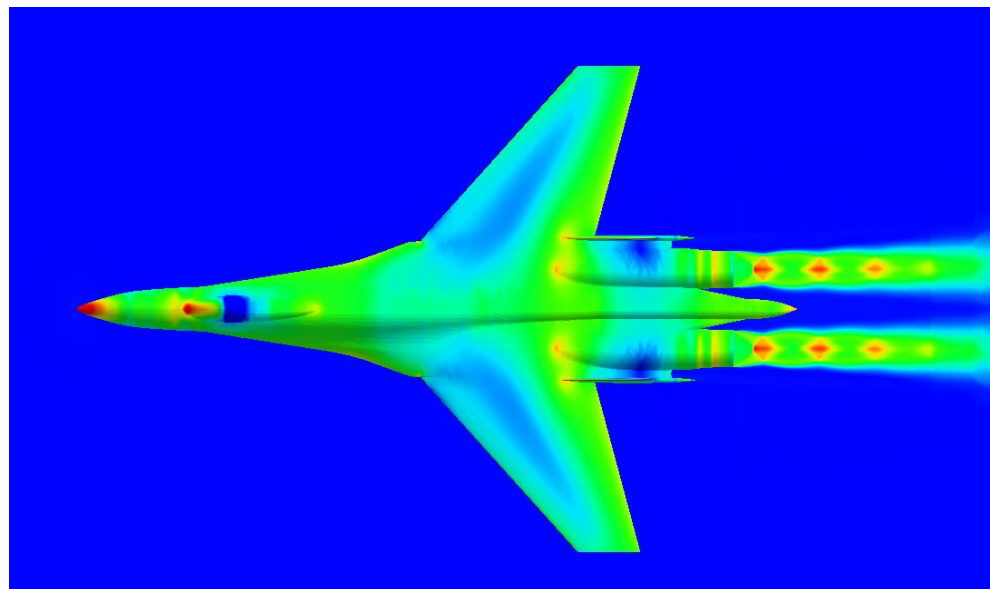
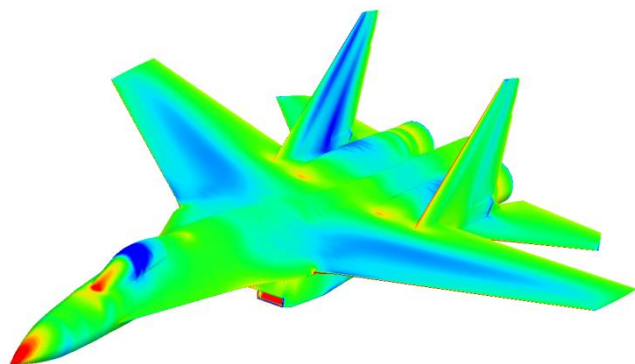
Время расчета: 3-9 часов

АЭРОДИНАМИКА/ГАЗОДИНАМИКА

АДХ маневренного самолета



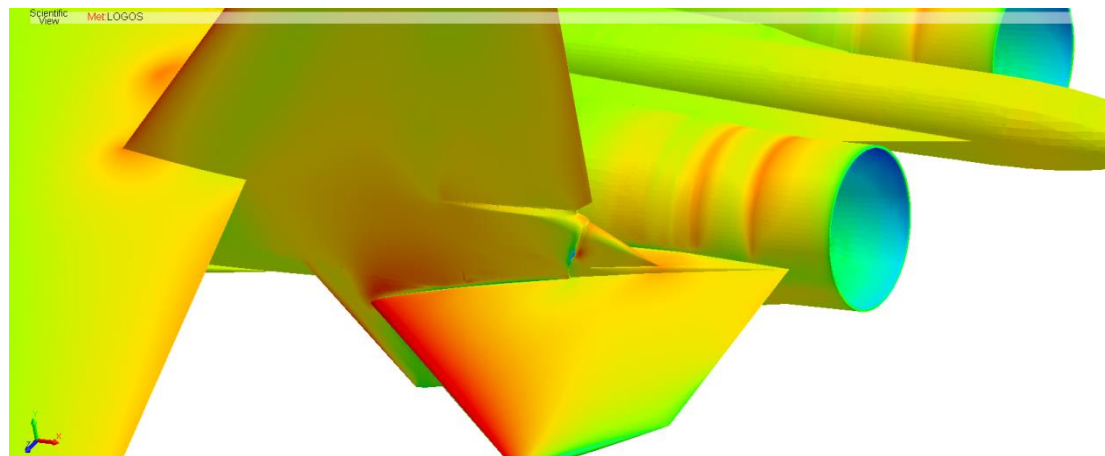
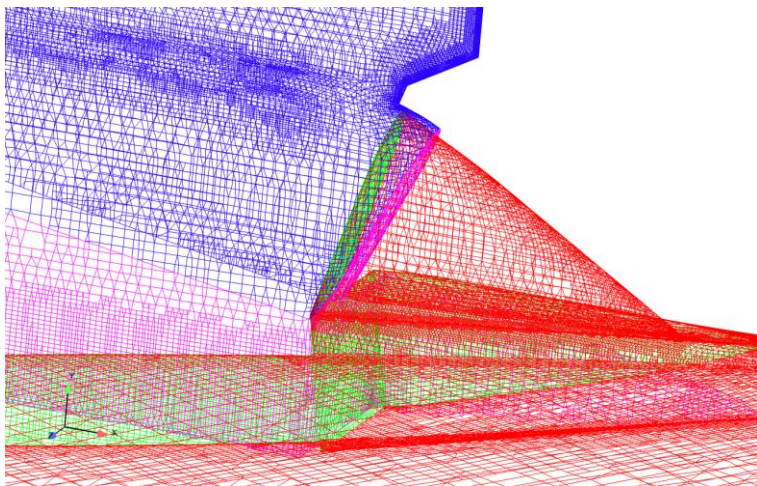
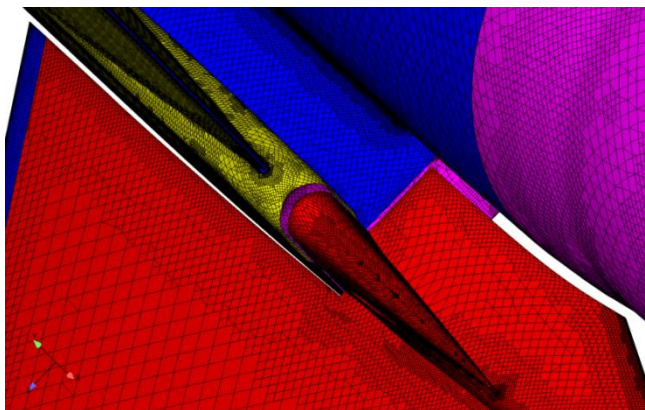
Scientific View MetLOGOS



Учет работы двигателя

АЭРОДИНАМИКА/ГАЗОДИНАМИКА

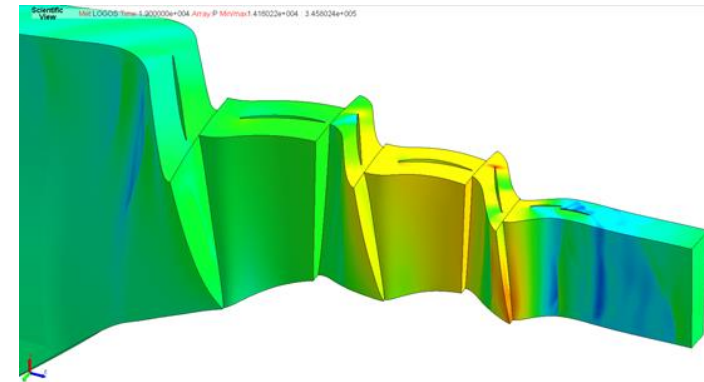
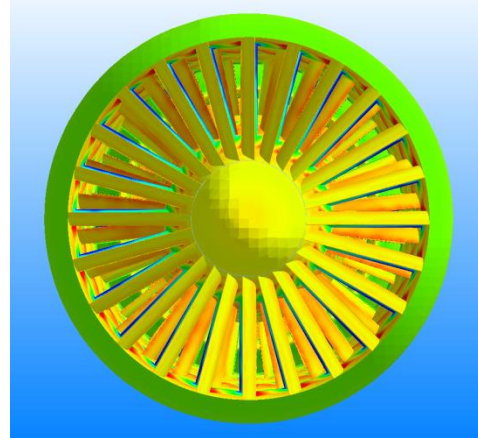
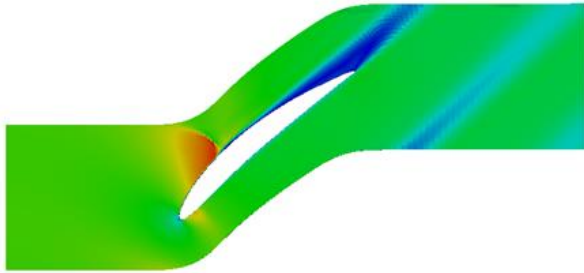
АДХ маневренного самолета



Сетки с перекрытиями

ТУРБОМАШИНЫ

Решаемые задачи



Доступные модели

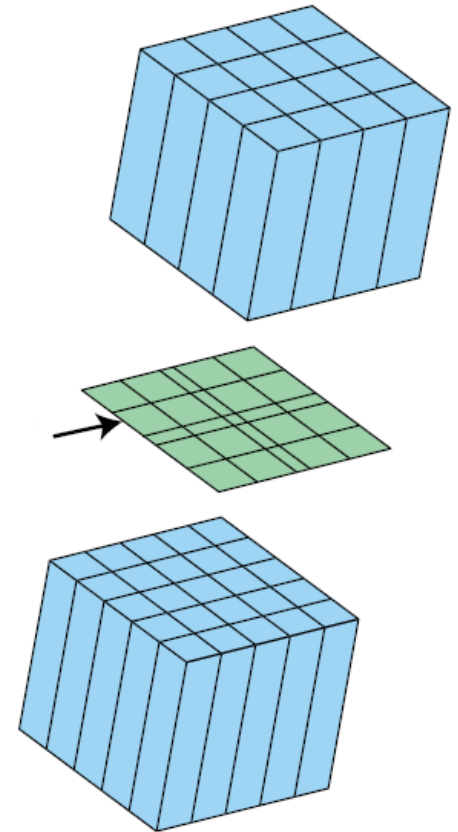
Плоская и угловая цикличность
Стационарное вращение
Взаимодействие ротора и статора

НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ГИДРОДИНАМИКИ УНИВЕРСАЛЬНЫЙ СЕТОЧНЫЙ ИНТЕРФЕЙС - GGI (GENERAL GRID INTERFACE)

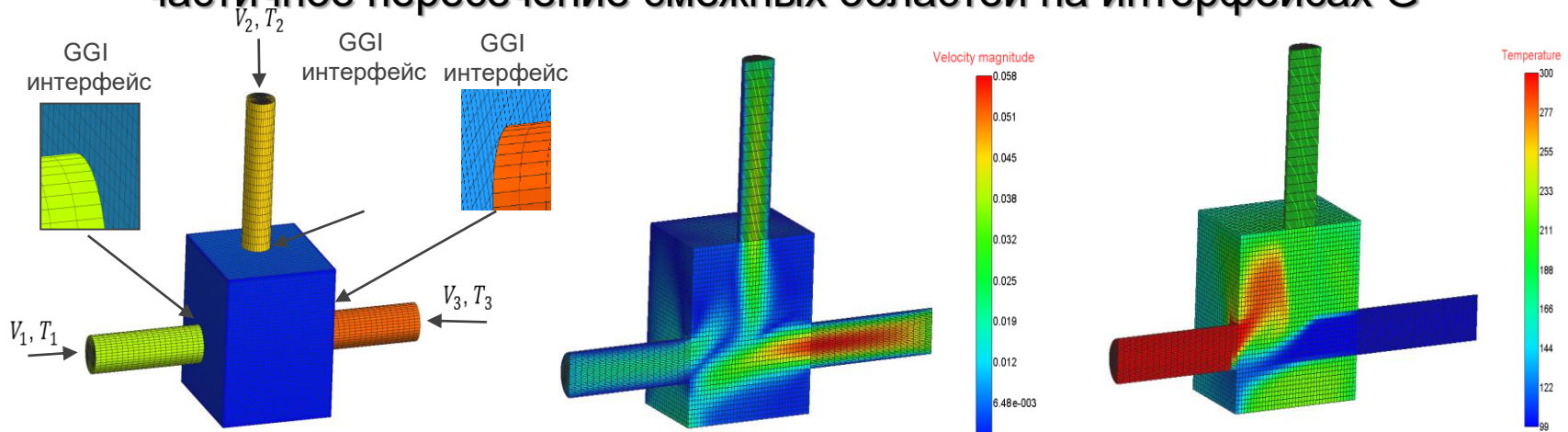
GGI – способ слияния **несогласованных сеточных областей** с несовпадающими узлами

Использование GGI основано на точном вычислении параметров виртуальных граней, полученных в результате пересечений внешних граней согласуемых сеточных областей, посредством которых и происходит согласование решения

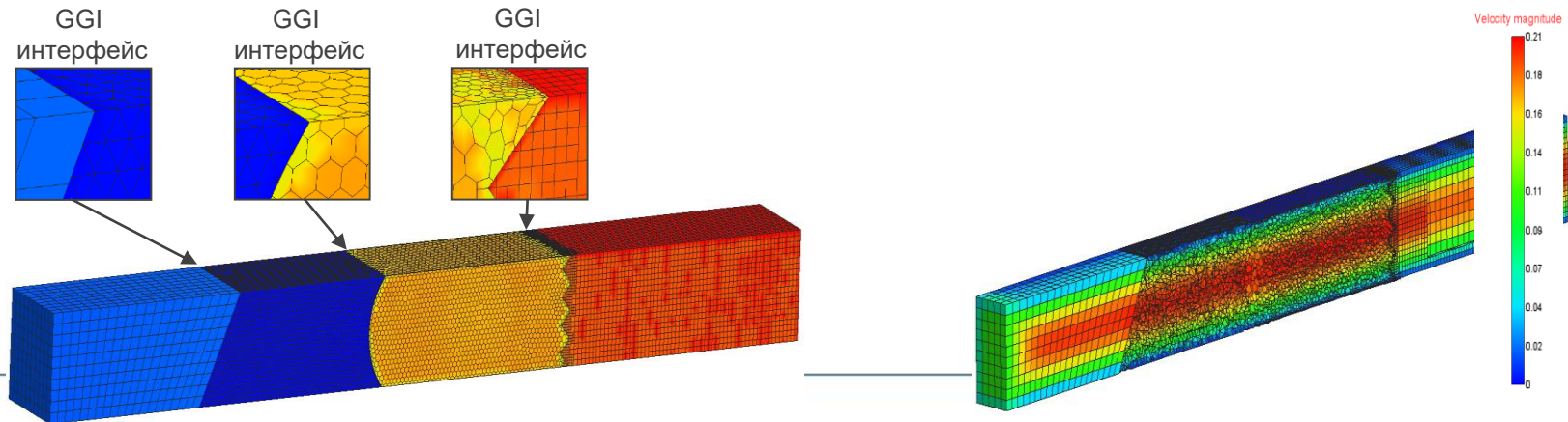
- Не требует модификации исходной сетки
- Набор исходных граней в области пересечения регионов заменяется на виртуальный, что позволяет объединить несостыкованные области в одну расчетную область
- Решается общая матрица системы уравнений состояния гидродинамики для всех ячеек объединенной сетки
- Допускается частичное пересечение границ смежных областей



Моделирование тепло-гидравлических процессов на моделях содержащих частичное пересечение смежных областей на интерфейсах G



Моделирование тепло-гидравлических процессов на моделях состоящих из областей с разным типом сеток



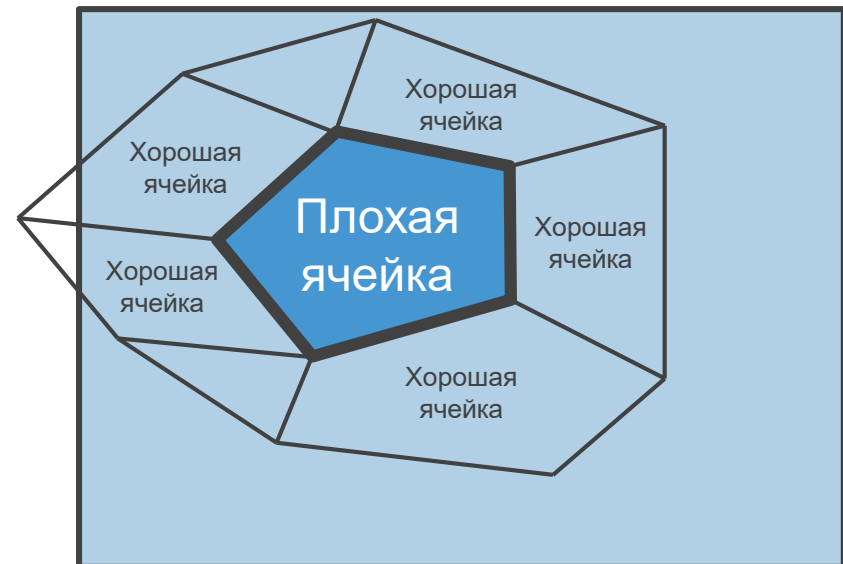
НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ГИДРОДИНАМИКИ

ПОВЫШЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ СЧЕТА ЗАДАЧ ГИДРОДИНАМИКИ НА СЕТКАХ ПЛОХОГО КАЧЕСТВА

- Определены критерии качества ячеек и пороговые диапазоны для них
- Разработан и внедрен модуль анализа качества неструктурированных многогранных расчетной сеток
- Разработан и внедрен алгоритм обработки плохих ячеек заменой граней плохих ячеек на непроницаемые границы
- Реализованные алгоритмы верифицированы при решении тестовых и промышленно-ориентированных задач

Название критерия	Критерий
Максимальный угол неортогональности	$0^\circ < \theta_{nort} < 85^\circ$
Отношение максимальной площади грани к минимальной	$10^{-4} < S_{fratio} < 10^4$
Выпуклость ячейки	$\theta_{convex} > 90^\circ$
Замкнутость ячейки	< заданного ϵ
Отношение максимальной длины ребра грани к минимальной	$e_{Lratio} < 10^4$
Отклонение граней ячейки от плоскости	$0^\circ < \theta_{dev} < 30^\circ$
Отношение объёма ячейки к максимальному (минимальному) объёму среди соседних к ней	$10^{-4} < V_{cell\ ratio} < 10^4$
Объём ячейки	$10^{-25} < V_{cell} < 10^{25}$
Форматное соотношение (Aspect ratio)	$10^{-4} < Aspect_{ratio} < 10^4$
Асимметрия ячейки	$0 < Skw < 0.9$

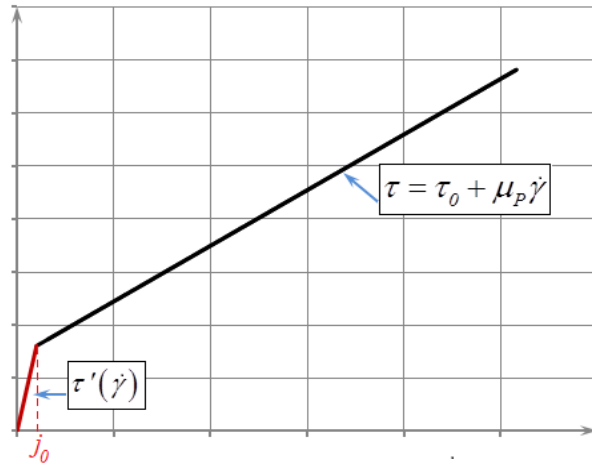
Замена граней плохой ячейки на непроницаемые границы



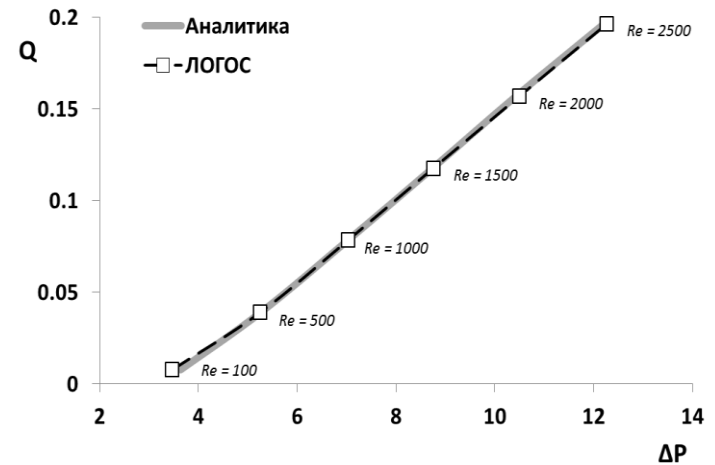
НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ГИДРОДИНАМИКИ РАСЧЕТ ТЕЧЕНИЯ НЕНЬЮТОНОВСКИХ ЖИДКОСТЕЙ

Возможность быстрого перехода от режима течения обыкновенной ньютоновской жидкости к режиму течения бингамовского пластика

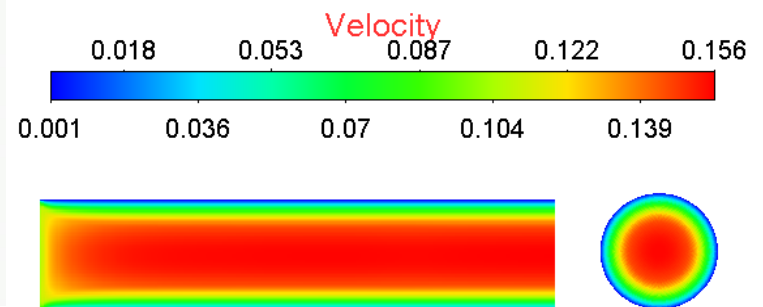
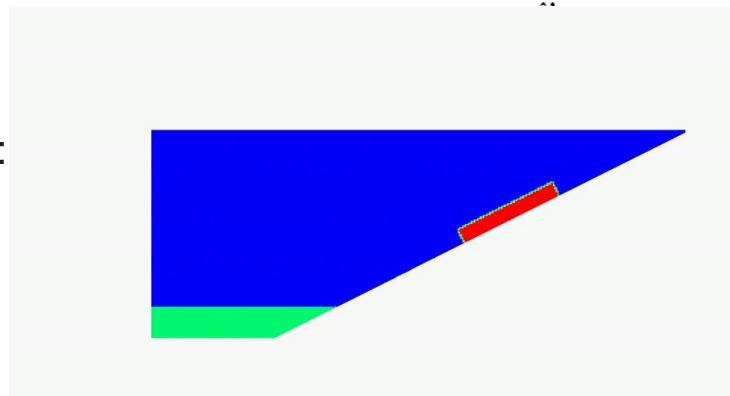
$$\mu(\dot{\gamma}) = \begin{cases} \mu_0, & \dot{\gamma} = 0 \\ \frac{\tau'(\dot{\gamma})}{\dot{\gamma}}, & \dot{\gamma} \leq \dot{\gamma}_0 \\ \frac{\tau_0 + \mu_p \dot{\gamma}}{\dot{\gamma}}, & \dot{\gamma} > \dot{\gamma}_0 \end{cases}$$



Задача ламинарного течения вязкопластичной жидкости в круглой трубе



Типичные задачи:
моделирование оползневых явлений



НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ГИДРОДИНАМИКИ МОНИТОРИНГ ВЕЛИЧИН

Основные операции:

- вычисление экстремумов, интегралов, среднего, суммы по объёму/поверхности,
- вычисление среднего по массовому/объемному расходу,
- вычисление значений в точке, значения формулы,
- вычисление экстремумов, среднего, суммы по временному интервалу,
- вычисление значения в момент времени,
- вычисление силы и момента, действующих на поверхность,
- вычисление массового/объемного расхода,
- вычисление детекторов свободной поверхности,
- вычисление характеристик твердого тела (центр тяжести, угол поворота, скорость, угловая скорость, суммарная сила/момент, равнодействующие сил)

Вычисление величин может проводиться с использованием других величин, либо с указанием формул или идентификаторов расчетных полей.

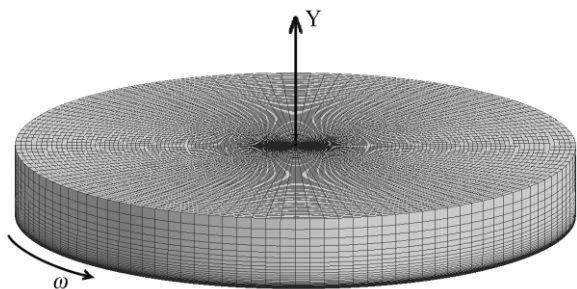
Результаты вычислений, проведённых в модуле мониторинга величин, могут быть использованы для задания граничных условий, источников импульса и перемещения тел.

НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ГИДРОДИНАМИКИ ПРИСТЕНОЧНЫЕ ФУНКЦИИ ДЛЯ ПОГРАНИЧНОГО СЛОЯ

Функция для расчёта скорости и трения в пограничном слое

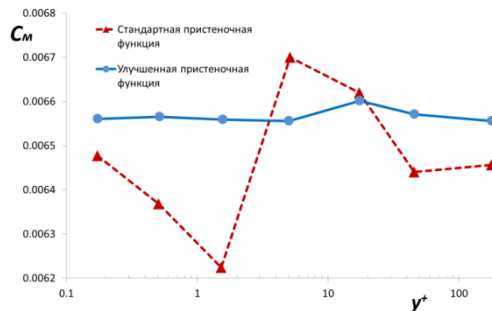
- Функция с автоматическим определением зоны пограничного слоя
- Применимы для RANS моделей турбулентности
- Расчёт на сетках с большими y^+ с минимальной потерей точности

На примере задачи моделирования пограничного слоя на вращающемся диске



– Сравнение погрешности в оценке коэффициента момента сопротивления диска относительно предельного решения для стандартной и улучшенной пристеночной функции

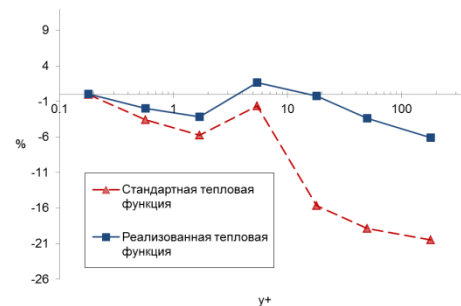
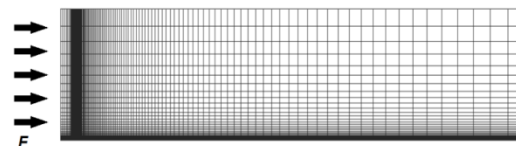
– Погрешность не превышает 0.7% на сетках из широкого диапазона сеточного разрешения



Функция для расчёта температуры и теплового потока в пограничном слое

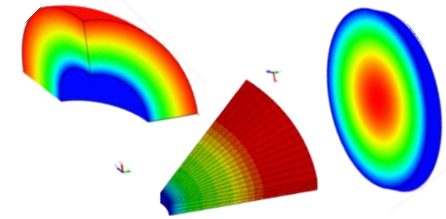
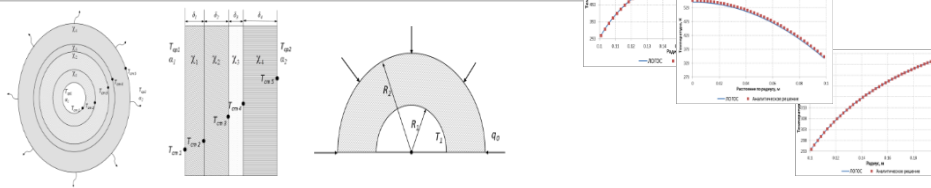
– Сравнение погрешности в оценке теплового потока относительно предельного решения для стандартной тепловой пристеночной функции и реализованной

– Погрешность не превышает 6% на сетках из широкого диапазона сеточного разрешения для решения задачи при числе Прандтля = 1

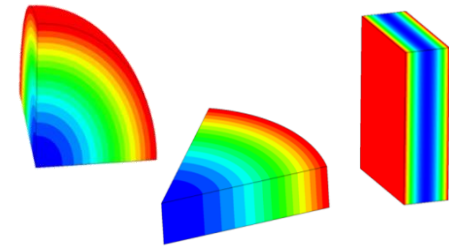
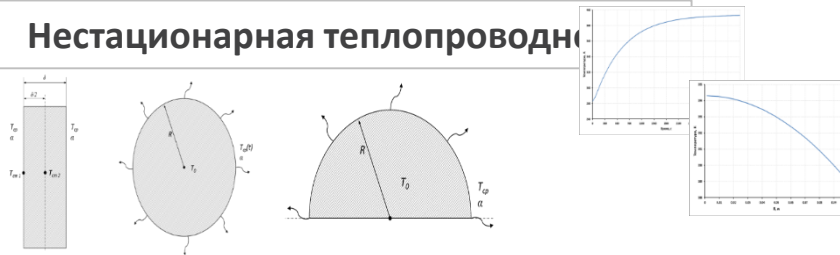


Теплопроводность в твердом теле

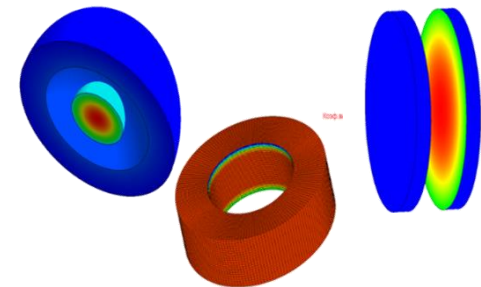
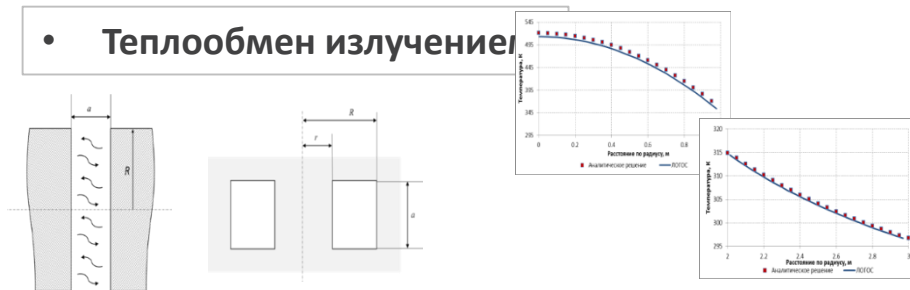
• Стационарная теплопроводность



• Нестационарная теплопроводность



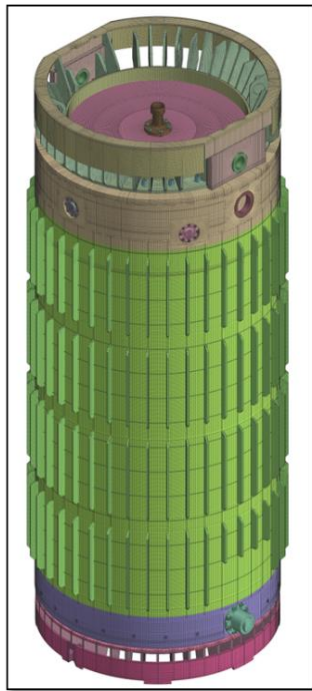
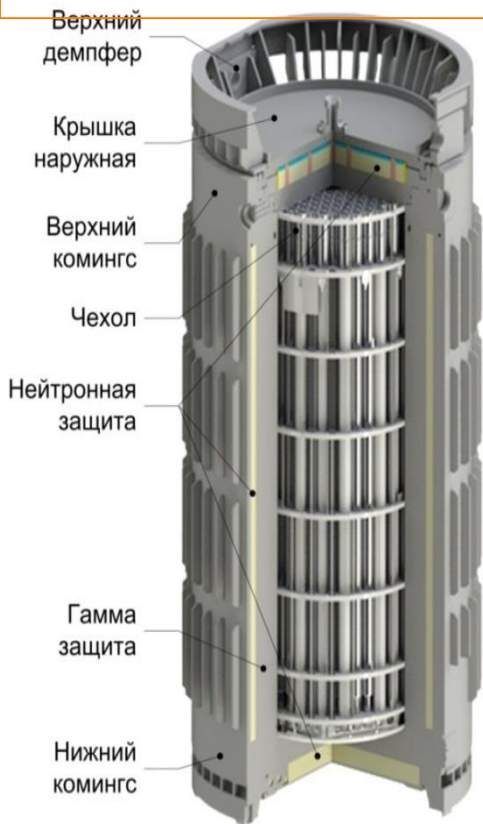
• Теплообмен излучением



Верификационная база модуля ЛОГОС-ТЕПЛО

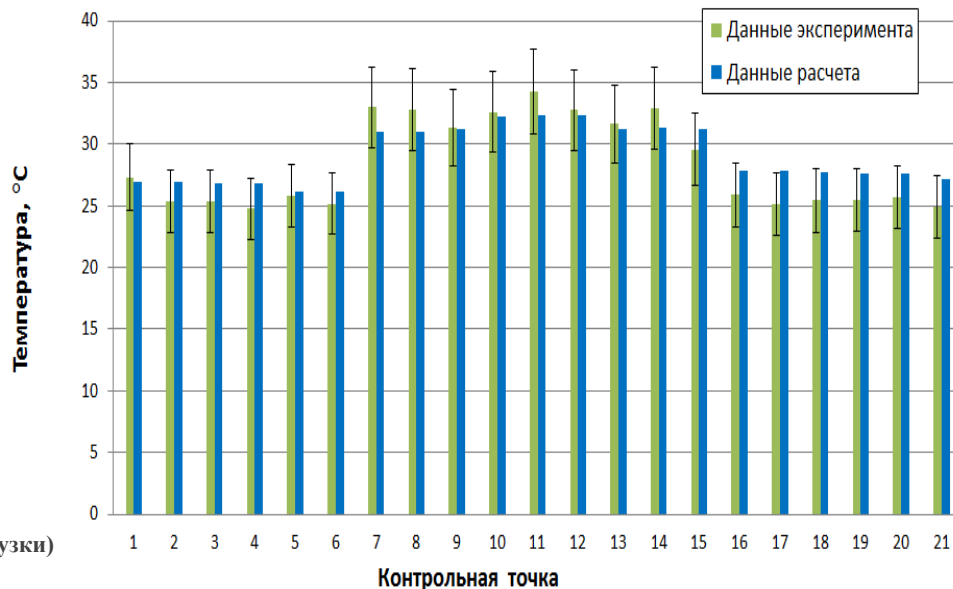
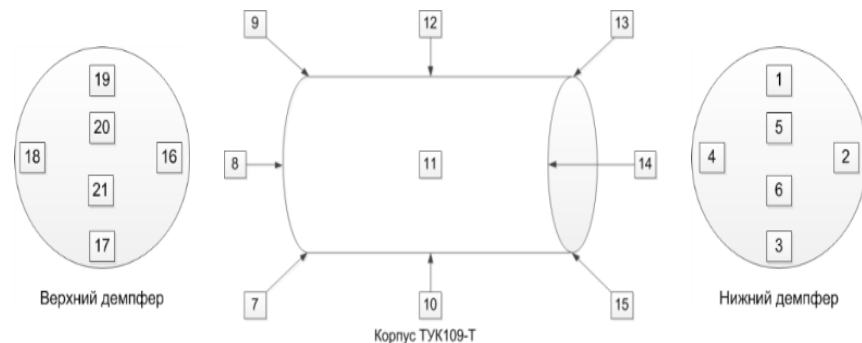
Расчёт теплового состояния ТУК для транспортирования и транзитного хранения кондиционного ОЯТ

Сеточная 3D модель



10 млн счетных ячеек (без загрузки)
40 млн счетных ячеек (с отработанным топливом)

Экспериментальная отработка



Сравнение расчётных данных и замеров. Средняя погрешность 5,3%

Спасибо за внимание