

Пакет программ Логос для численного моделирования физических процессов

18.09.2023

Королева Анастасия Павловна

Руководитель направления по техническому консалтингу

ООО «Русатом – Цифровые Решения»



Общие сведения о программном комплексе

Разрабатывается в РФЯЦ-ВНИИЭФ с 2009 года

Включен в Единый реестр российских программ для ЭВМ и баз данных Минцифры России

Поддержан Президентом России



ЛОГОС АЭРО-ГИДРО
РОСАТОМ

Моделирование аэро-, гидро-, газодинамических процессов



ЛОГОС ПРОЧНОСТЬ
РОСАТОМ

Моделирование процессов статической и динамической прочности



ЛОГОС ТЕПЛО
РОСАТОМ

Моделирование процессов теплопередачи и фазовых переходов



ЛОГОС ГИДРОГЕОЛОГИЯ
РОСАТОМ

Моделирование процессов поверхностного стока и подземной гидродинамики



ЛОГОС ЭМИ
РОСАТОМ } 2023

Моделирование электромагнитных процессов

Расчётные модули для моделирования физических процессов



ЛОГОС ПРЕПОСТ
РОСАТОМ

Подготовка расчетных моделей, анализ результатов



ЛОГОС ПЛАТФОРМА
РОСАТОМ

Интеграция расчетных моделей и сторонних программных средств

Среда организации взаимодействия инженерного ПО

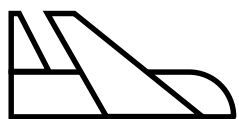
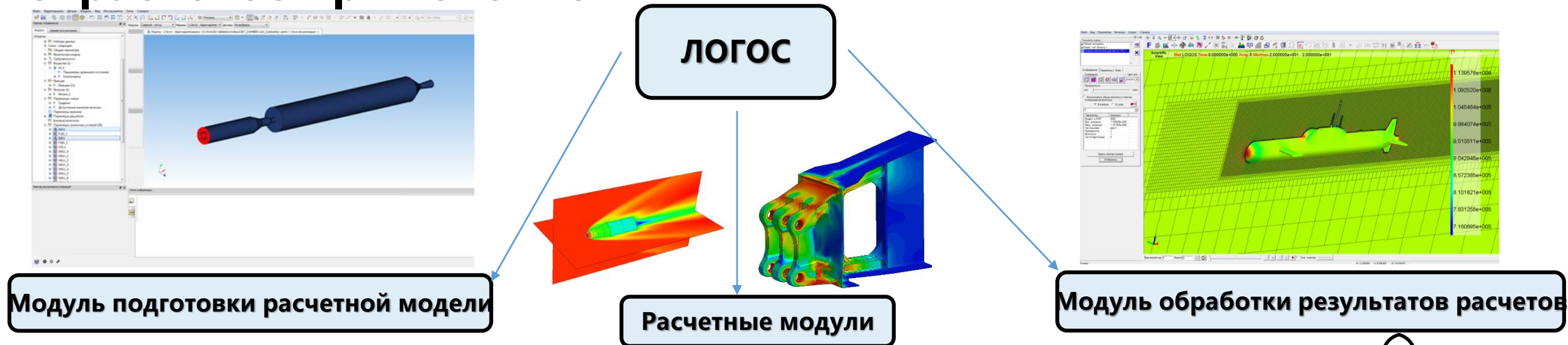


ЛОГОС ДАННЫЕ
РОСАТОМ } 2024

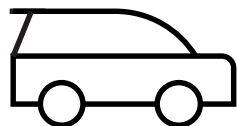
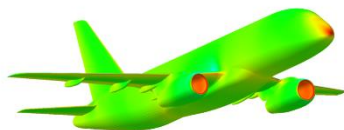
Управление проектными и расчетными данными

Управление данными инженерных проектов

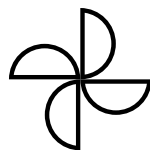
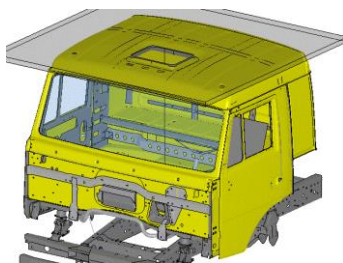
Отраслевое применение



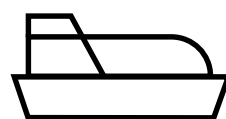
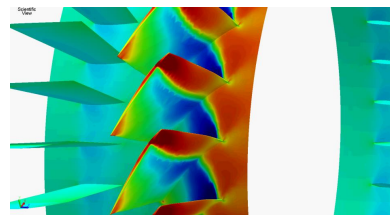
Авиа-
строение



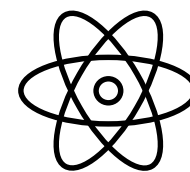
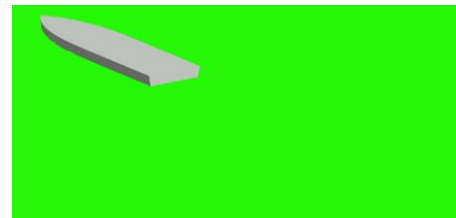
Автомобиле-
строение



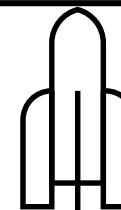
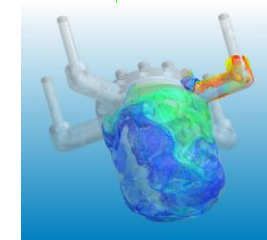
Двигателе-
строение



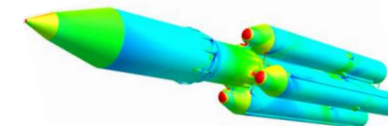
Судостроение



Энергетика

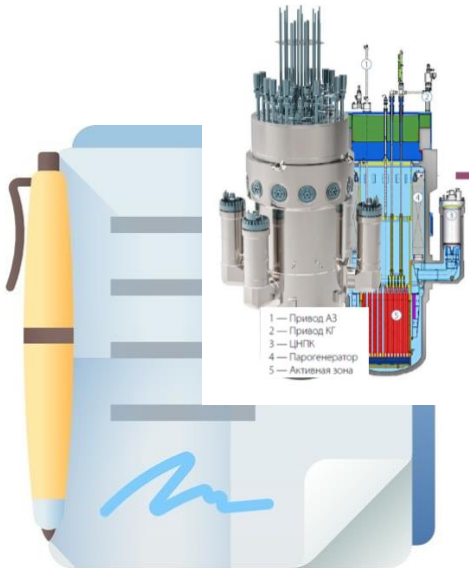


Ракетно-
космическая
отрасль

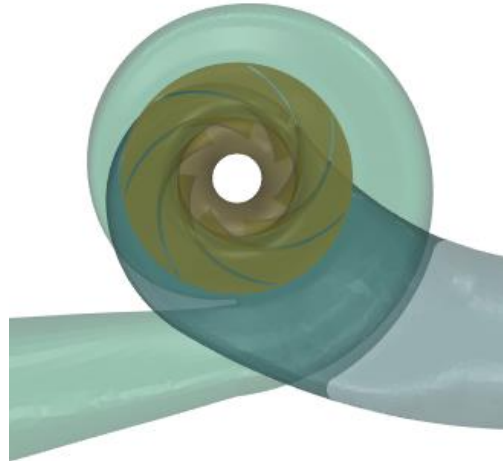


Этапы выполнения инженерных расчетов при помощи численного моделирования

Описание расчетной задачи (техническое задание, расчетная схема)

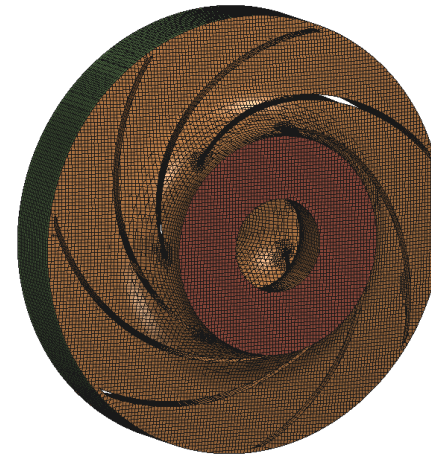


Создание геометрической модели



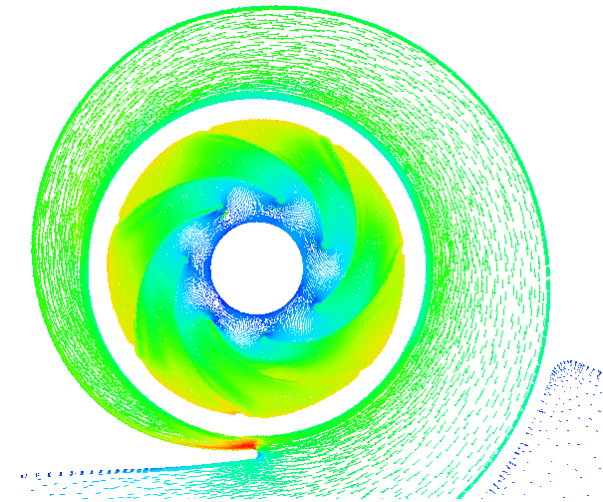
CAD-система
(например КОМПАС-3D)

Создание расчетной модели (построение сетки, задание начальных и граничных условий)



CAE-продукт
Логос Аэро-Гидро, Логос Тепло,
Логос Прочность

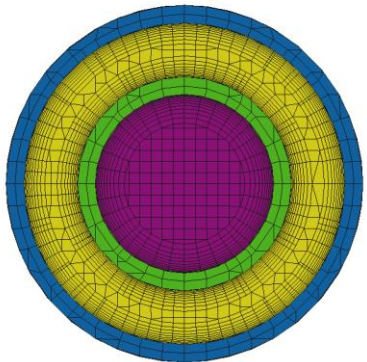
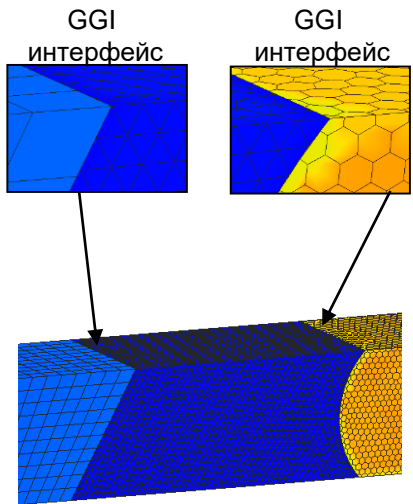
Проведение расчета, обработка результатов



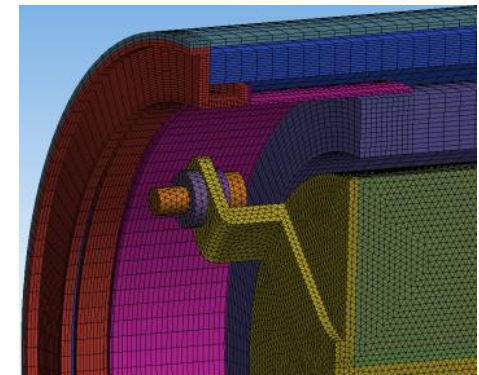
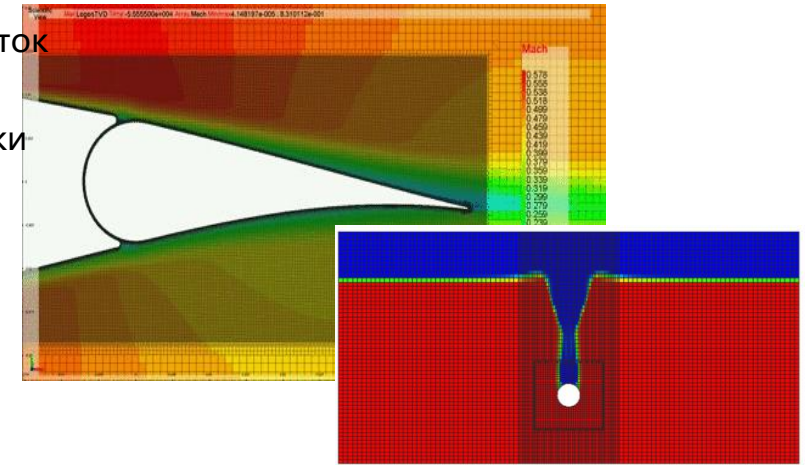
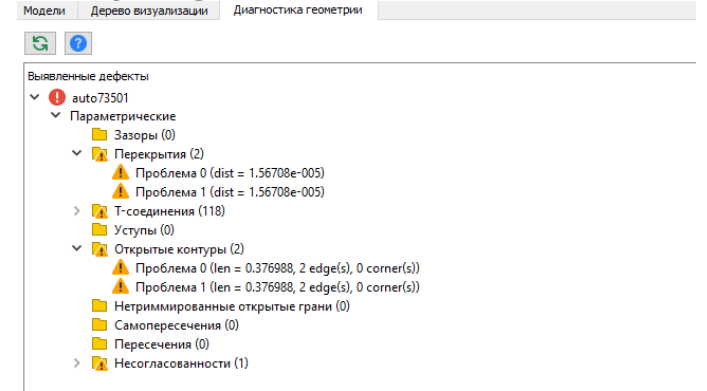
Логос - Подготовка моделей и обработка результатов



Подготовка моделей
и анализ результатов
в интерактивном режиме



- Работа с геометрическими моделями:
 - Импорт из популярных CAD-форматов в аналитическом и фасеточном представлении (XML, STEP, IGES, STL)
 - Создание простых геометрических объектов
 - Трансформация геометрических моделей
 - Диагностика геометрии и автоматическое исправление ошибок
 - Редактирование и доработка геометрической модели
- Создание расчетных сеток:
 - Автоматическая генерация тетраэдральной и многогранной сеток
 - Автоматическая генерации сетки методом отсечения
 - Автоматическая генерация пристеночной призматической сетки
 - Калькулятор u^+ для оценки размера первой ячейки
 - Операции по редактированию и анализу качества сеток
 - Локальная адаптация
 - Назначение интерфейсов
 - Технологии подвижных и деформируемых сеток
- Импорт сеточных моделей (ngeom, mesh, msh, stl)
- Задание начальных и граничных условий
- Задание параметров решателей и тактики счета, запуск на расчет:
 - Выбор типа решателя, параметров физической модели, критериев окончания счета и т.д.
 - Удаленный запуск на суперкомпьютере
- Постобработка результатов с помощью системы визуализации



Пакет программ Логос

ЛОГОС.Препост

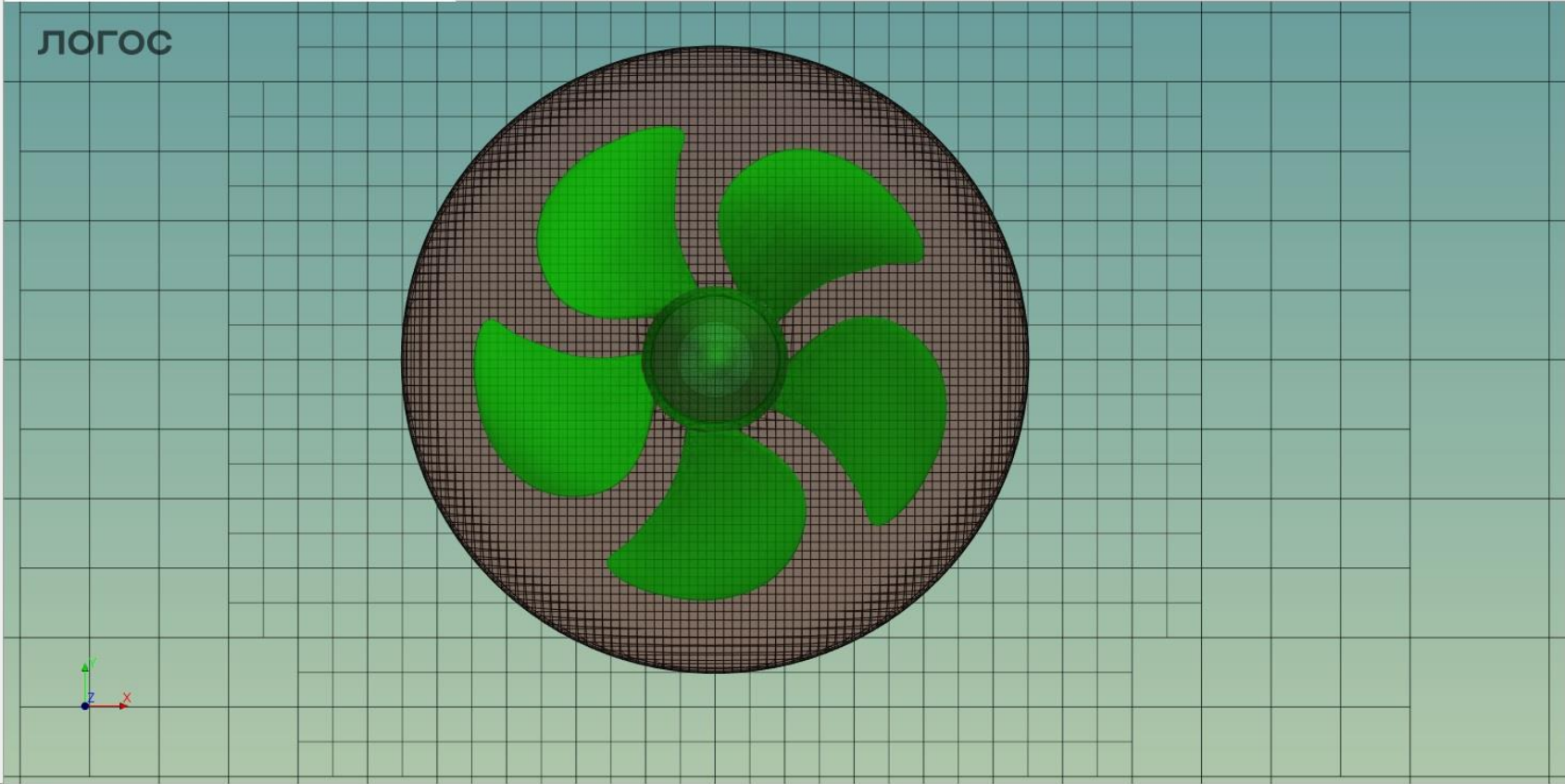
Файл Правка Модель Расчет Вид Инструменты Окна Справка

Панель управления

Модели Дерево визуализации

- Модели (1)
 - 1-Логос - Аэрогидромеханика
 - Детали
 - Информация о модели
 - Наборы данных (8)
 - Сетка - операции
 - Общие параметры
 - Физическая модель
 - Турбулентность
 - Вещества (1)
 - Регионы (1)
 - Параметры схемы
 - Параметры времени
 - Параметры решателя
 - Решатели СЛАУ
 - Параметры релаксации
 - Границы (7)
 - Wall-0
 - Pressure-1
 - Symmetry-2
 - Inlet-3
 - Wall-5
 - SplittedSet6
 - SplittedSet7
 - Локальные системы координат
 - Интерфейсы
 - Редактор формул
 - Вывод результатов
 - Графики
 - Таблицы

Модель: 1-Логос - Аэрогидромеханика \ Окно визуализации: 1



ЛОГОС

Панель параметров граничных условий

Тип	Параметр	Значение
		Стенка без проскальзывани...

Окно информации

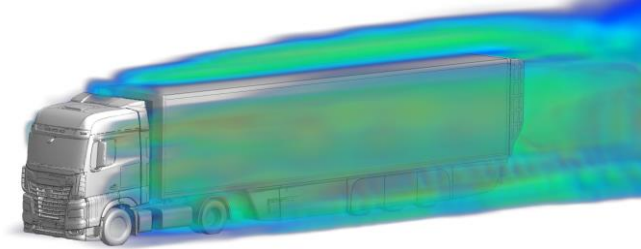
Данные успешно загружены из файла C:\Users\

1-Логос - Аэрогидромеханика

Версия 5.3.19 (сборка 191)

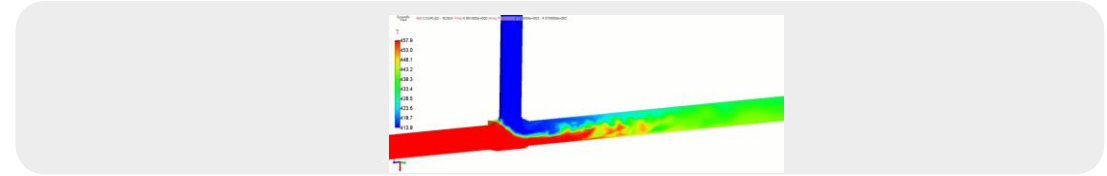
Решатели

Связанный решатель «Аэро» (TVD Coupled Solver)



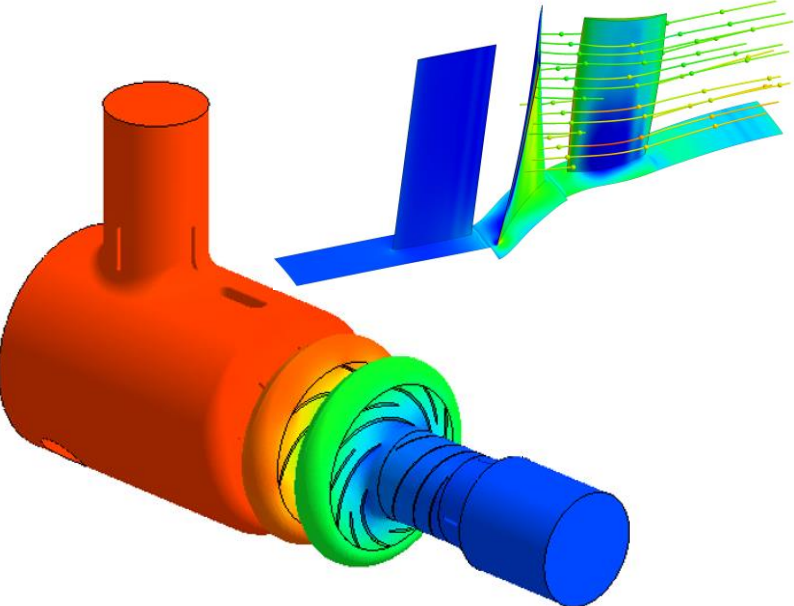
- Вязкие и невязкие течения
- Идеальный и реальный газ (Ван-дер-Ваальс и Редлих-Квонг), реальный воздух, несжимаемая жидкость
- RANS-модели: SA, SST, SSG/LRR-w (RSM)
- Вихреразрешающие модели: LES, DDES, IDDES, EDES
- Генератор синтетической турбулентности для входных граничных условий
- $\gamma-Re\theta$ – модель ламинарно-турбулентного перехода
- Многокомпонентные течения
- Модель квазичастиц (дисперсные среды), тонких пленок и эрозии
- Химические реакции и горение (Laminar FRC, EBU, EDC)
- Модель теплокомфорта
- DO-метод переноса тепла излучением
- Адаптация сетки к особенностям решения
- Модель FWH для шума в дальнем поле
- Стандартная модель атмосферы

Разделенный решатель «Гидро» (алгоритм Simple)

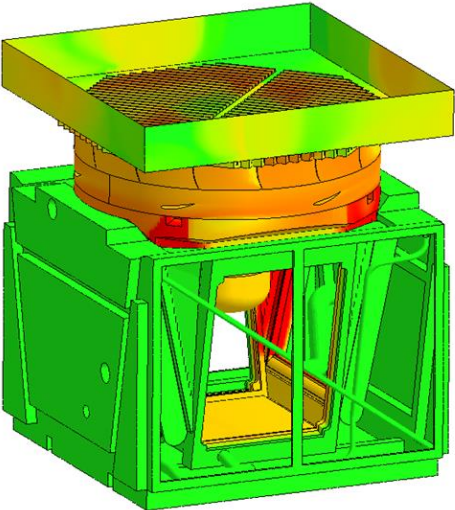
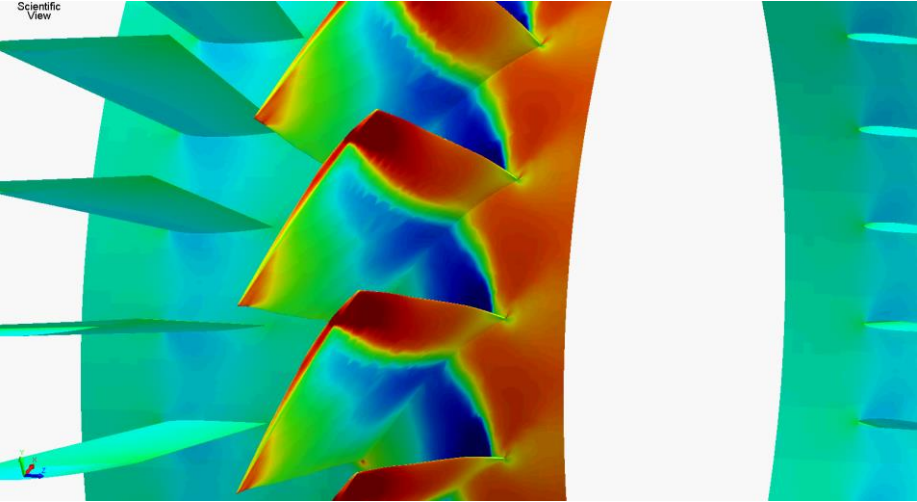


- Вязкие и неньютоновские жидкости
- Несжимаемая и сжимаемая жидкости, а также идеальный газ
- RANS-модели: SA, SST, K-E, EARSM, BSL
- Вихреразрешающие модели: LES, DES, DDES, IDDES
- Генератор синтетической турбулентности для входных граничных условий и внутренних интерфейсов
- Зонные подходы RANS-LES и RANS-IDDES
- Течения со свободной поверхностью VOF
- Морфинг
- Кавитирующие течения на основе гомогенного представления
- Многофазные течения
- Модель твердого тела
- Интерфейс «жидкость – твердое тело» для задач сопряженного теплообмена

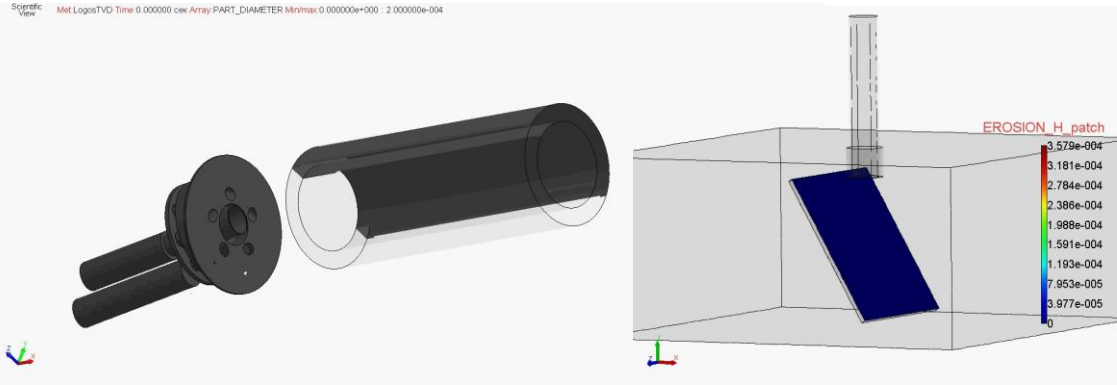
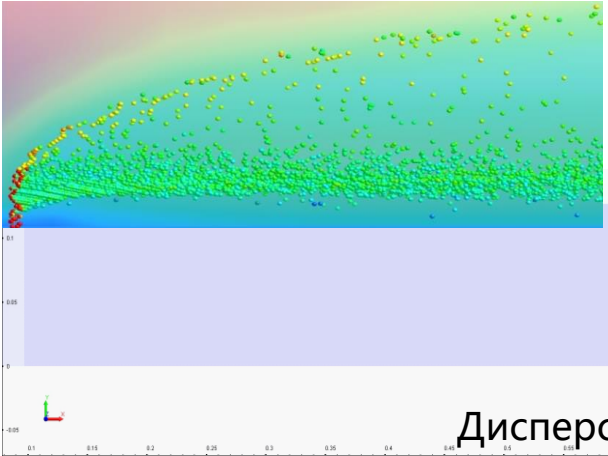
Логос Аэро-Гидро. Возможности и решаемые задачи



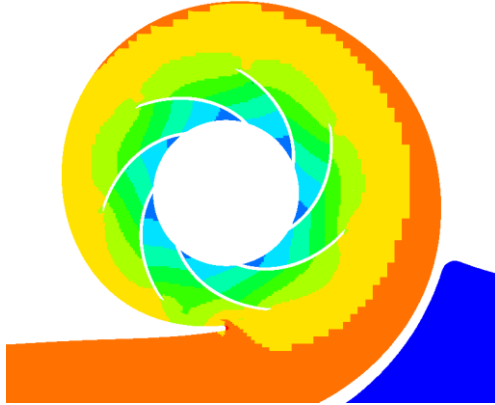
Лопаточные машины, насосы и подвижные механизмы



Теплообмен в модуле охлаждения локомотива

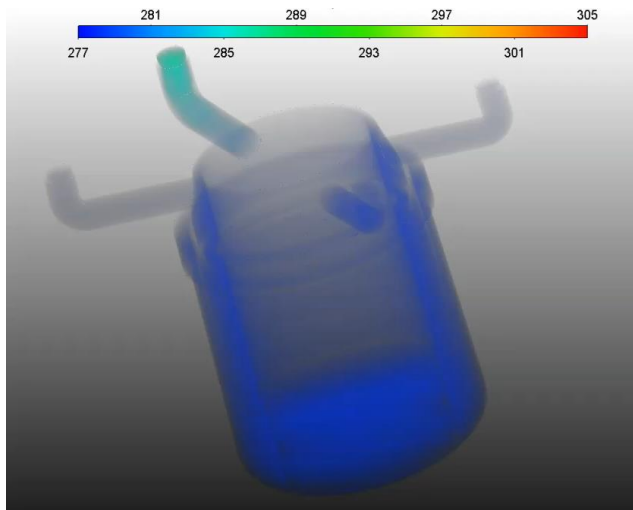


Дисперсные среды, распространение частиц, эрозия

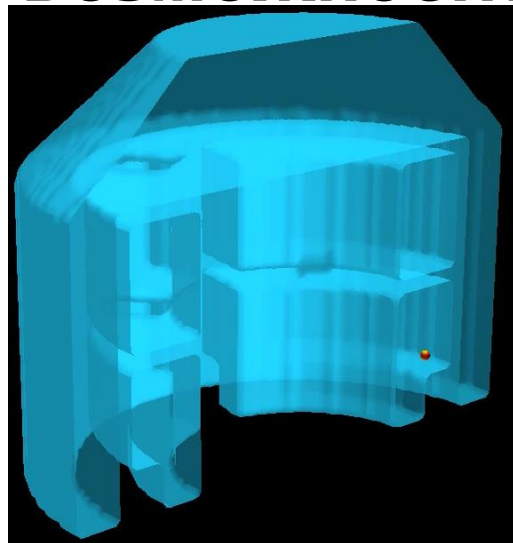


Расчёт центробежного насоса ⁸

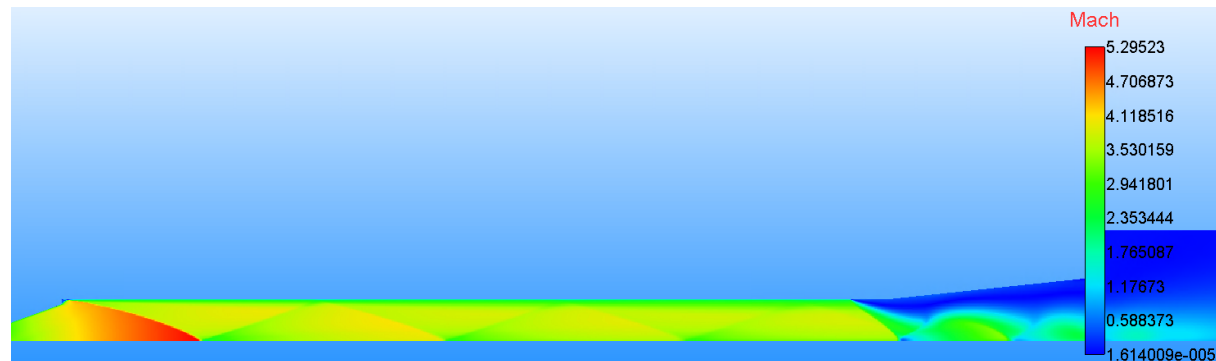
Логос Аэро-Гидро. Возможности и решаемые задачи



Течения в трубопроводах и гидравлических системах



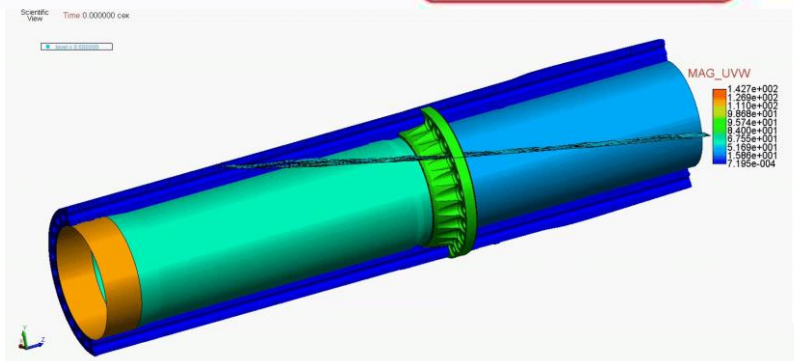
Горение водородосодержащих смесей



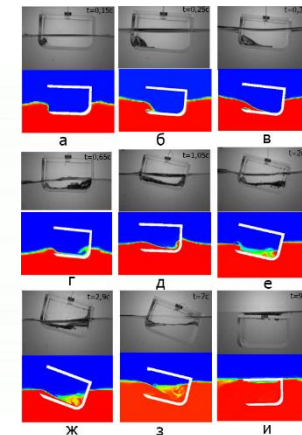
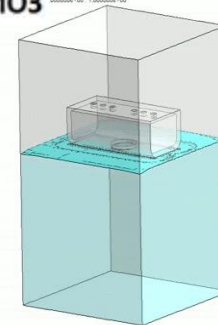
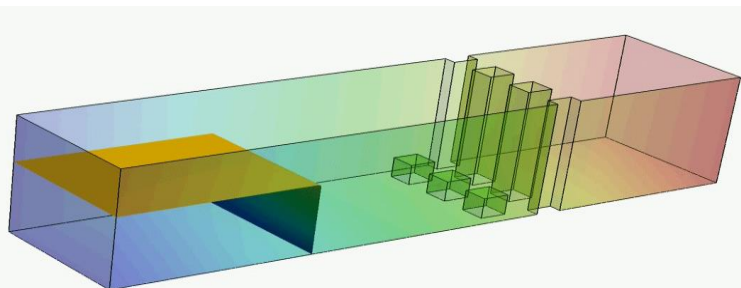
Течение в газодинамической трубе



ГИДРОТОРМОЗ



Механизмы, гидротормозные устройства

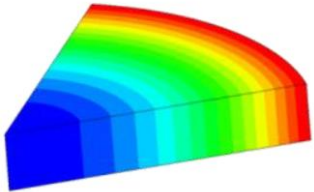


Затопление

Решение задач теплообмена



Решатель тепло в твердом теле
HEAT



Тепловые расчеты

- Стационарные/нестационарные процессы
- Анизотропная теплопроводность
- Зависимость параметров от базовых и произвольных величин
- Импорт начальных условий с предыдущих расчётов

Излучение

- Излучение в вакууме
- Излучение в теплопроводной среде
- Границы с симметрией излучения
- Излучение внешней среды
- Излучение при сопряженном теплообмене
- Зависимость степени черноты от температуры
- Зависимость температуры излучения среды от времени

Фазовый переход

- Абляция/эрозия
- Необратимый фазовый переход
- Множественный фазовый переход

Граничные условия

- Температура
- Тепловой поток
- Конвективный теплообмен
- Излучающая стенка

Контакт

- Автоматический температурный контакт

Источники энерговыведения

- Объемный источник энерговыведения
- Мгновенный источник энерговыведения

Термическое сопротивление

- Внутреннее сопротивление

Нагрев и воспламенение веществ

- 1, 3, 4 стадийные модели кинетики

Сопряженный теплообмен

- Стационарный/нестационарный сопряженный теплообмен
- Сопряженный теплообмен системы подвижных тел

Подвижные тела и формоизменение

- Движение как жесткого тела
- Тела с подвижными границами

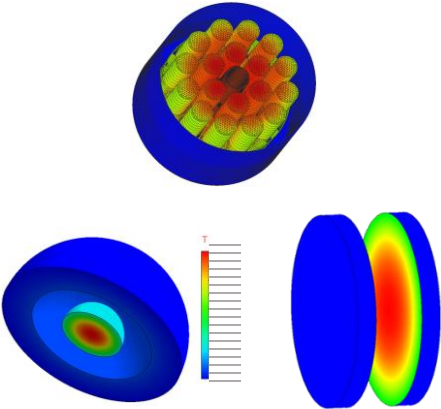
Эргономичность/устойчивость/быстродействие

- Пользовательские параметры, задание таблиц и формул
- Задание величин в произвольных локальных системах координат
- Схемы повышения устойчивости на плохих сетках
- Гибкая настройка решателей СЛАУ

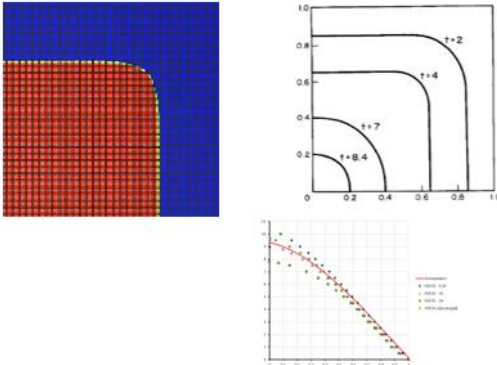
Возможности вывода результатов

- Мониторинг величин
- Пользовательский вывод

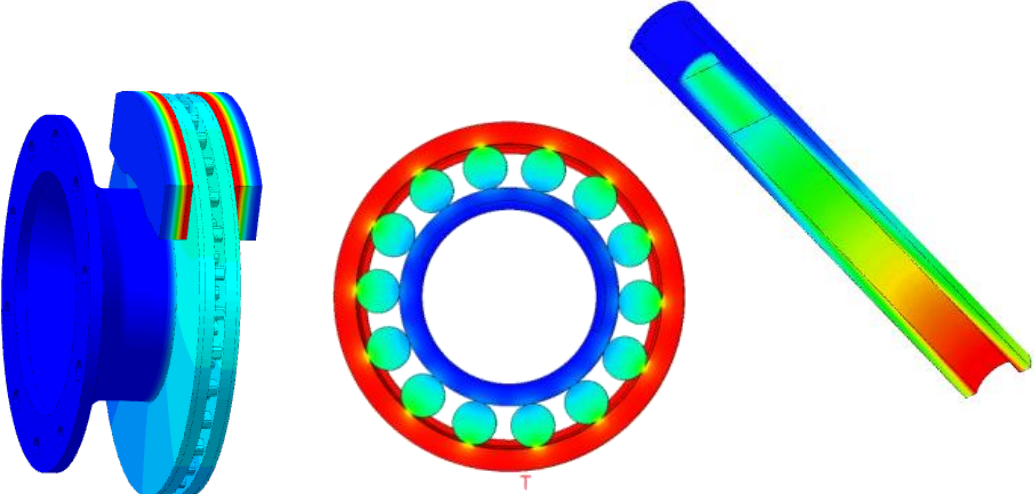
Решение задач теплообмена



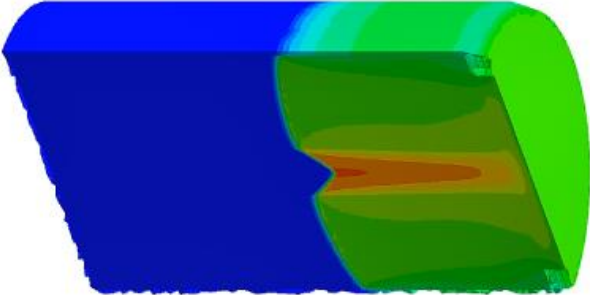
Теплообмен излучением



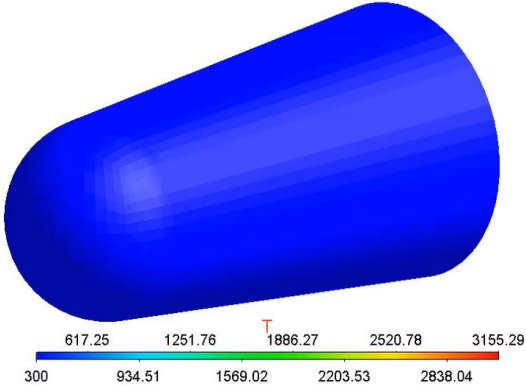
Фазовый переход



Подвижные тела и температурный контакт



Инициация и горение пиротехнических составов



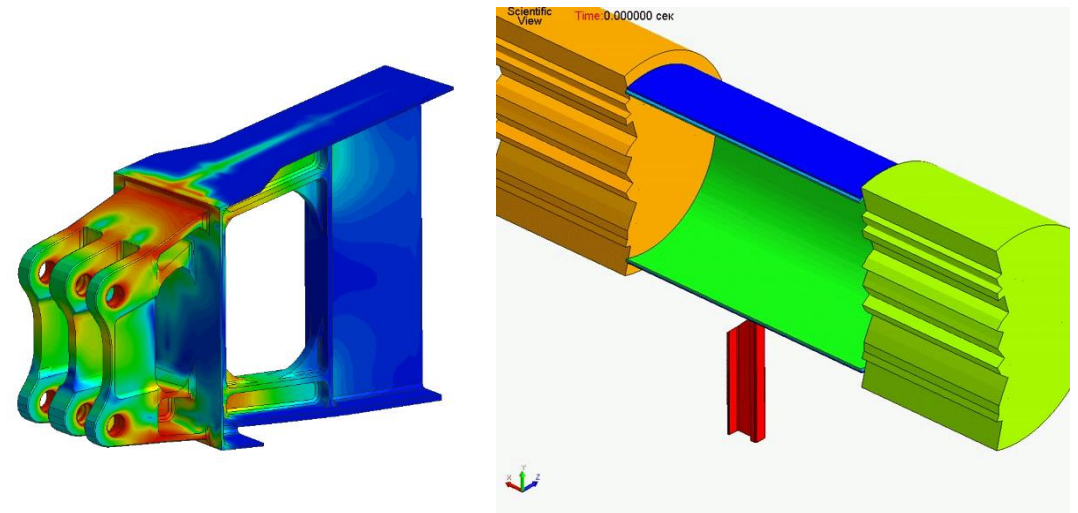
Изменение геометрии границы, унос массы (абляция/эрозия)

Функциональные возможности для решения задач прочности

Определение напряженно-деформированного состояния конструкций при квазистатических термосиловых воздействиях

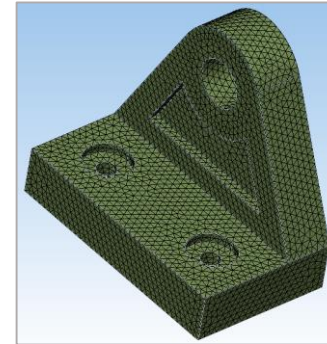
Динамическое деформирование и разрушение конструкций при ударах, взрывах и проникании в различные среды

Анализ частот и форм колебаний, гармонический анализ, анализ ШСВ

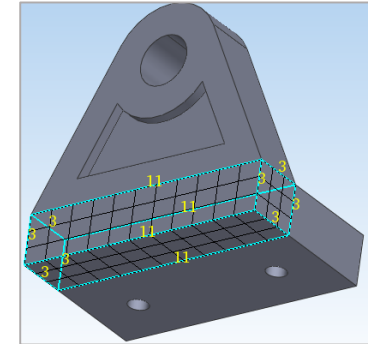


Логос Препост. Построение сеточной модели

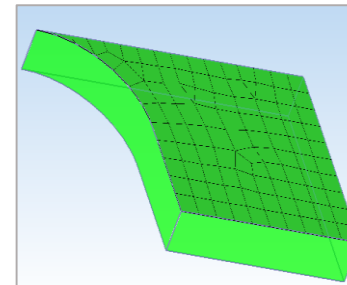
- Работа с геометрическими моделями:
 - Импорт из популярных CAD-форматов в аналитическом и фасеточном представлении
 - Создание простых геометрических объектов
 - Трансформация геометрических моделей
 - Диагностика геометрии и автоматическое исправление ошибок
 - Редактирование и доработка геометрической модели
- Создание расчетных сеток:
 - Автоматическая генерация сеток
 - Операции по редактированию и анализу качества сеток
- Импорт сеточных моделей из множества форматов
- Задание начальных и граничных условий
- Задание параметров решателей и тактики счета, запуск на расчет:
 - Выбор типа решателя, параметров физической модели, критериев окончания счета и т.д.
 - Удаленный запуск на суперкомпьютере
- Постобработка результатов с помощью системы визуализации



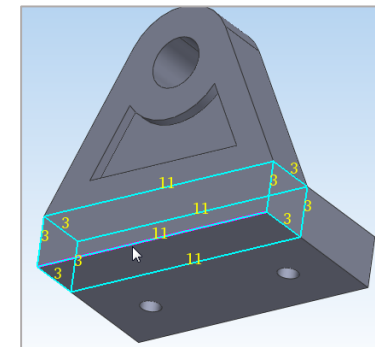
Автоматическое построение тетраэдральной и шестигранной сетки



Построение регулярной сетки



Построение объемной сетки протягиванием поверхностной



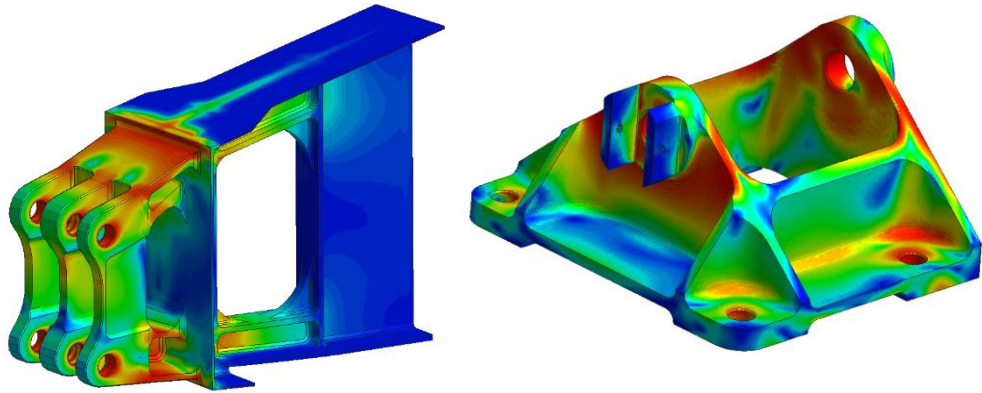
По заданному распределению на каждом ребре

СТАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

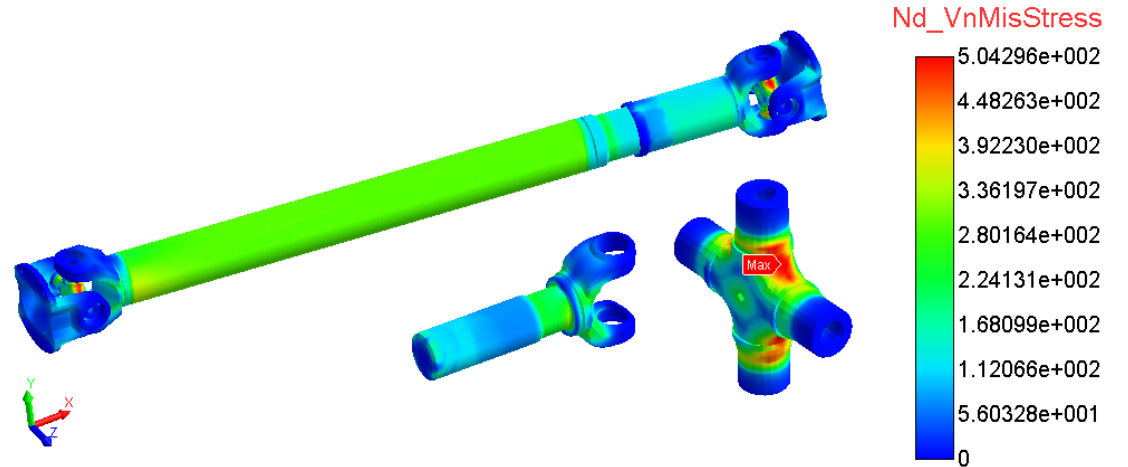


- **Библиотека конечных элементов:**
 - **Объемные элементы 1-го и 2-го порядка аппроксимации по пространству**
 - шестигранники
 - тетраэдры
 - треугольные призмы
 - пирамиды с 4-угольным основанием
 - **Оболочечные элементы**
 - 3х и 4х узловой
 - гипотезы Кирхгофа, Тимошенко для учета мембранных/изгибных/сдвиговых деформаций
 - объемно-оболочечное приближение
 - **Балочные/стержневые элементы**
 - гипотезы Кирхгофа, Тимошенко
 - произвольный профиль сечения
 - объемно-балочное приближение
- **Специализированные элементы**
 - сосредоточенная масса
 - жесткие связи
 - многоточечные ограничения
 - пружина
 - болтовое/заклепочное соединения
 - шарниры
- **Дополнительные функции формы и стабилизирующие добавки**
 - ESF
 - simplified ESF
 - bbar
 - MITC
- **Модели материального деформирования:**
 - **Упругий материал**
 - **Упругопластический материал**
 - билинейная/мультилинейная диаграмма деформирования
 - изотропное/кинематическое упрочнение
 - **Учет нелинейных эффектов**
 - ползучесть
 - повреждаемость
 - разномодульность
 - **Механика разрушения**
 - набор критериев разрушения
 - модель прогрессирующего разрушения
 - метод когезионных зон для моделирования трещинообразования
 - **Слоистый композиционный материал на основе оболочечного элемента – учет разрушения**
 - **Учет орто/анизотропии, температурные зависимости материальных констант, учет локальной ориентации**
 - **Пользовательская модель материала**

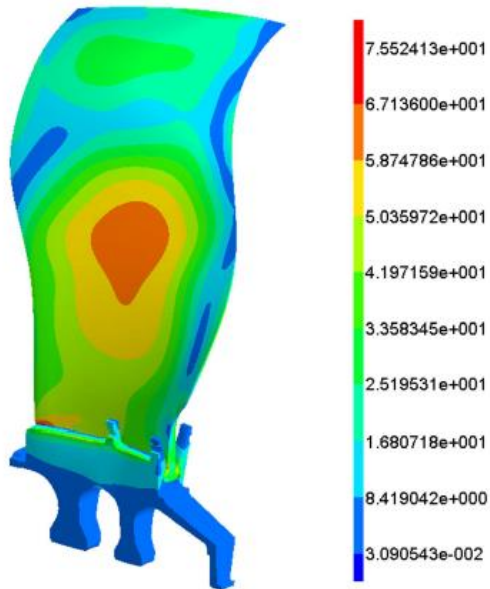
ПРИМЕРЫ ЗАДАЧ СТАТИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ



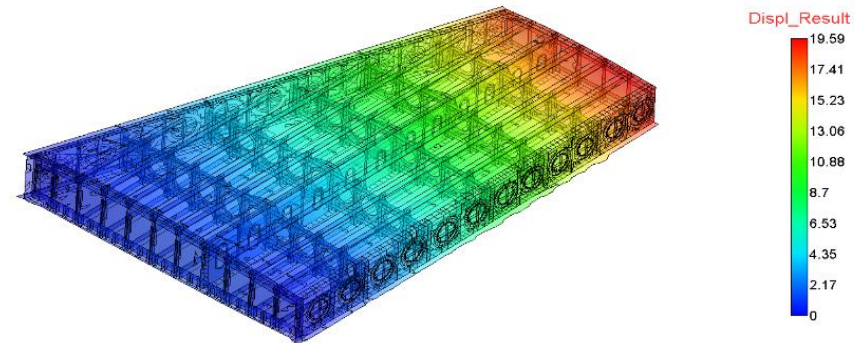
НДС шпангоута и кронштейна



Расчет напряжений карданного вала заднего моста под действием крутящего момента



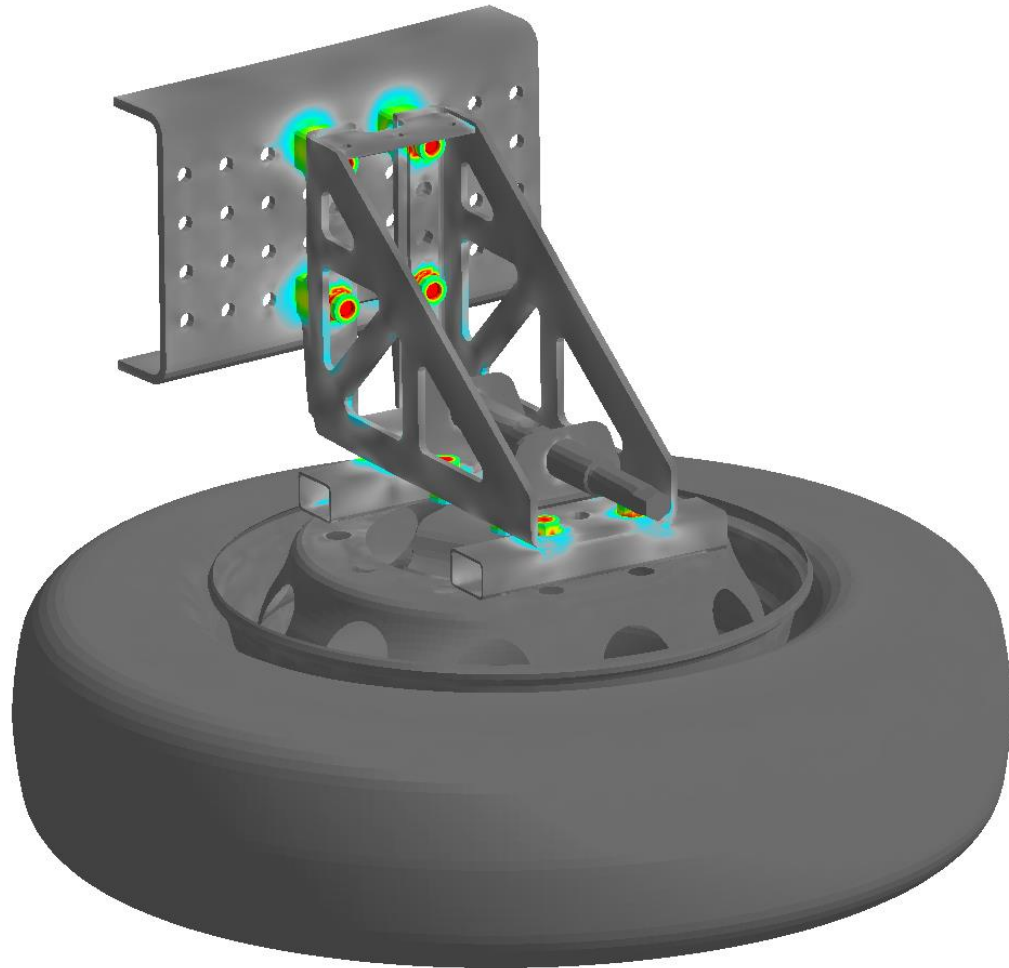
НДС лопатки вентилятора авиационного двигателя



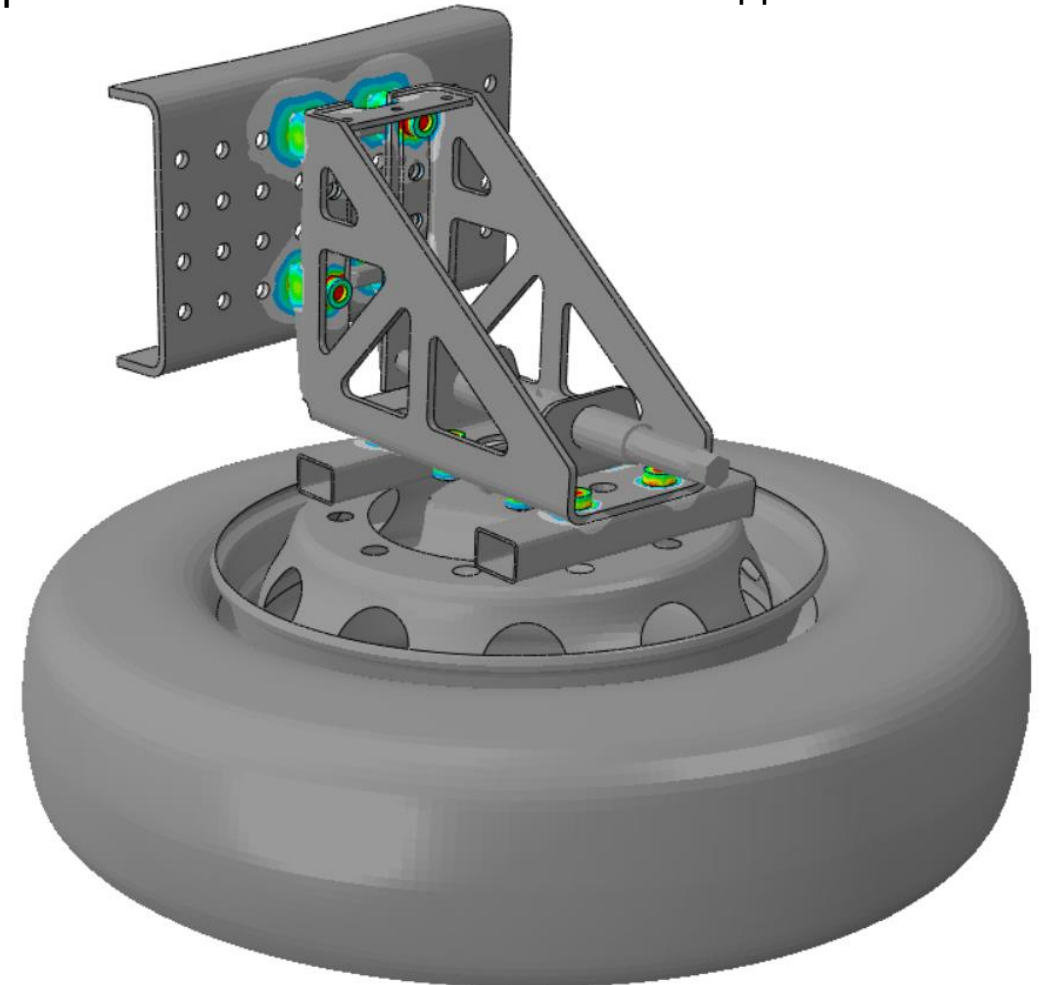
Панель из ортотропного материала в геометрически нелинейной постановке

ПРИМЕРЫ ЗАДАЧ СТАТИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ

Статический расчет кронштейна держателя запасного колеса автомобиля КАМАЗ-65656 на прочность в составе с участком рамы и запасного колеса с учетом предварительной затяжки болтовых соединений



Логос Прочность

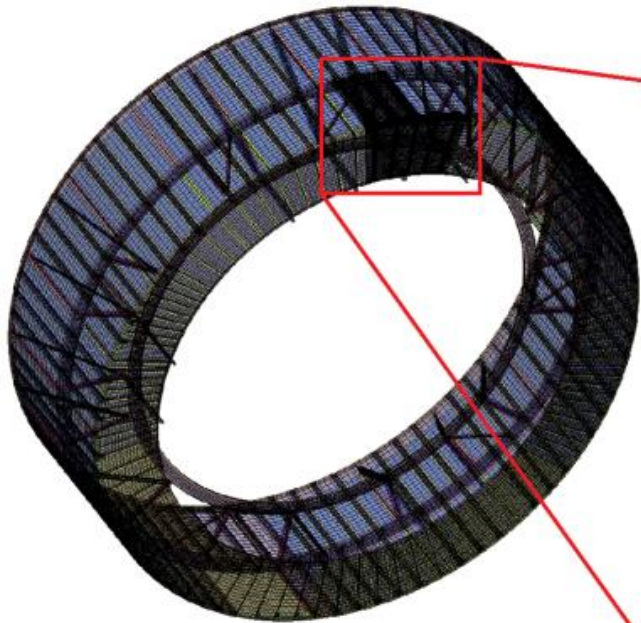


КПО

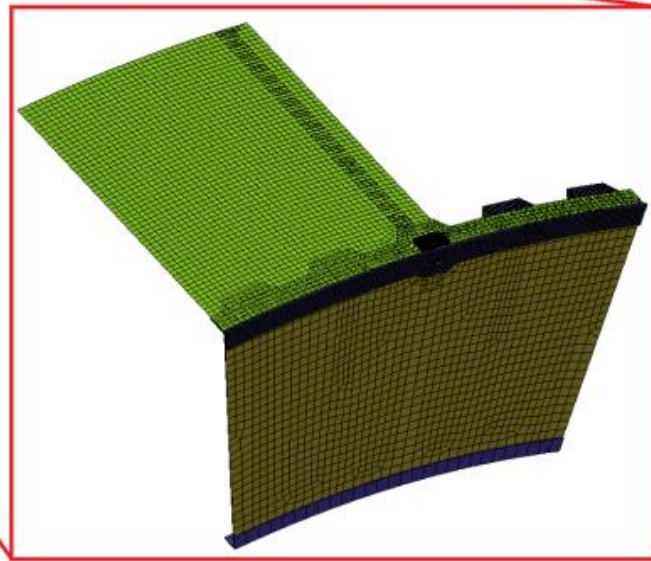
ПРИМЕРЫ ЗАДАЧ СТАТИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ

Определение НДС конструкции с применением технологии субмоделирования

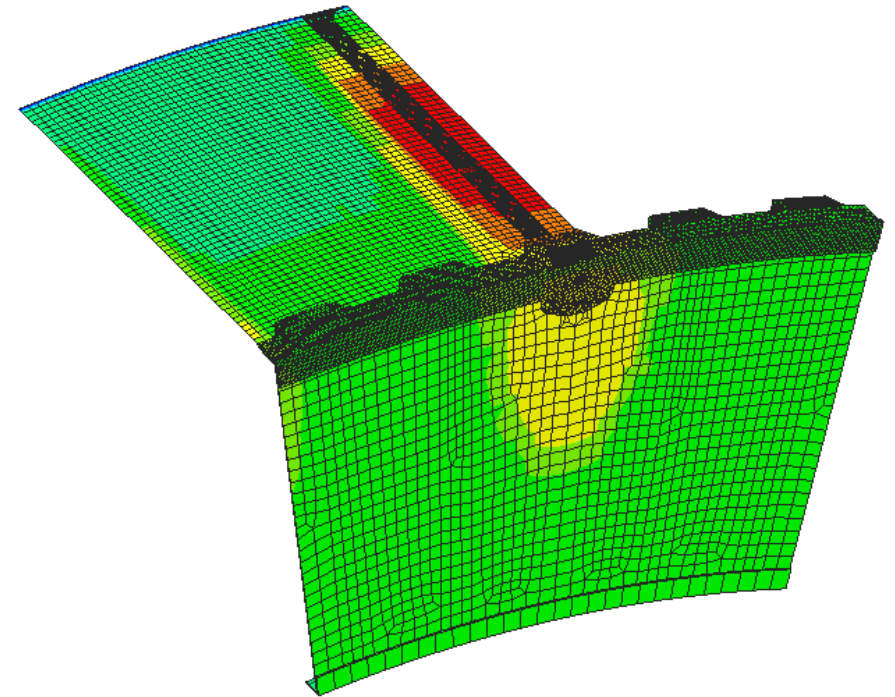
Глобальная модель



Локальная модель



Поле результирующих перемещений локальной модели



Displ_max: 3.88 mm
(отклонение от эталона ~3%)

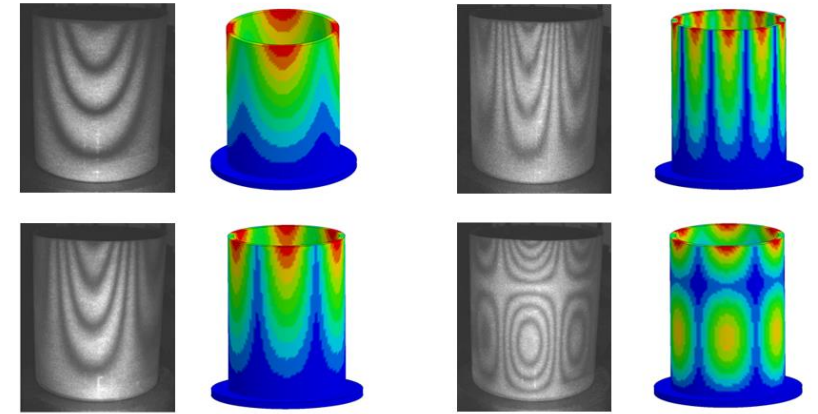
ВИБРАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ



- **Типы конечных элементов**
 - **Объемные элементы 1-го и 2-го порядка аппроксимации по пространству**
 - шестигранники
 - тетраэдры
 - треугольные призмы
 - пирамиды с 4-угольным основанием
 - **Оболочечные элементы**
 - 3х и 4х узловой
 - гипотезы Кирхгофа, Тимошенко
 - **Балочные/стержневые элементы**
 - гипотезы Кирхгофа, Тимошенко
 - произвольный профиль сечения
 - **Специализированные элементы**
 - сосредоточенная масса
 - жесткие связи
 - многоточечные ограничения
 - пружина
 - амортизатор
 - болтовое/заклепочное соединения
 - **Дополнительные функции формы и стабилизирующие добавки**
 - **Разные схемы интегрирования, учет локальной ориентации**
- **Модели материального деформирования**
 - Изотропная
 - Ортотропная
 - Анизотропная линейная упругость
- **Матрица масс**
 - Редуцированная / согласованная
- **Демпфирование**
 - Глобальное (постоянное, в форме Рэлея)
 - По материалам (постоянное, в форме Рэлея)
 - По элементам (амортизаторы)
- **Учет контактного взаимодействия между частями конструкции**
 - Поддержка совместности деформаций
 - Контактное взаимодействие с учетом трения на основе метода штрафа
- **Учет предварительного НДС**
 - Изменение вибрационных характеристик конструкции ввиду действия предварительного нагружения
- **Вычислительные методы**
 - Прямые и итерационные методы для решения СЛАУ
 - Итерационный процесс Арнольди для поиска собственных значений и векторов

МОДАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ

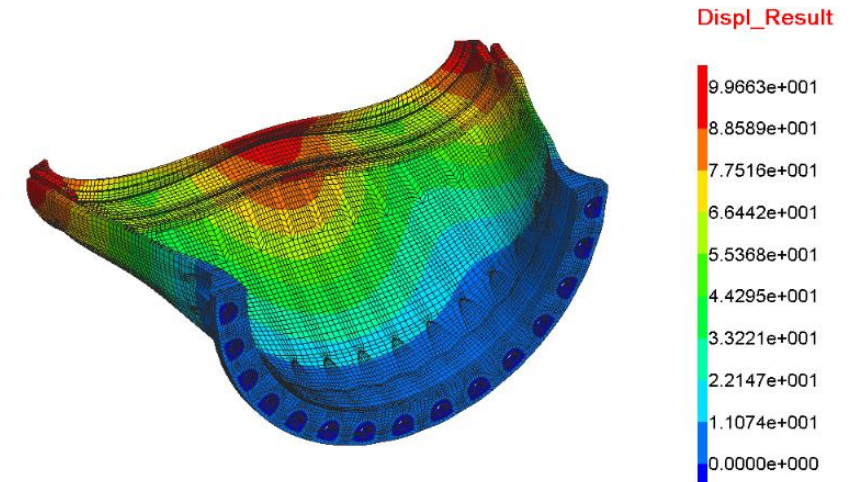
- Классический модальный анализ без учета демпфирования и модальный анализ с учетом демпфирования (редуцированный метод, глобальное демпфирование, материальное, элементное)
- Закрепленные / незакрепленные модели
- Линейно – упругие материалы (изотропные, ортотропные, анизотропные)
- Учет предварительного напряженного деформированного состояния (включает нелинейное деформирование, контактное взаимодействие)
- Учет контактного взаимодействия для определения пятна контакта



Анализ собственных частот и форм колебаний цилиндрической оболочки постоянной толщины



Расчет собственных частот рабочего колеса турбины

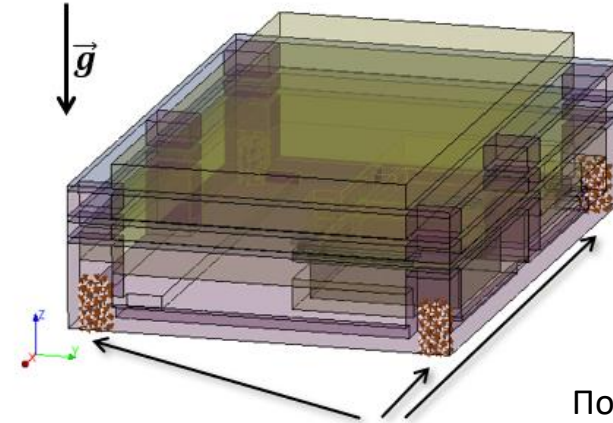


Расчет собственных частот и форм колебаний корпуса опоры авиационного двигателя

ГАРМОНИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

- Подходы
 - Полный метод
 - Метод суперпозиции собственных форм колебаний
- Учет предварительного НДС
- Демпфирование
 - Постоянное (по материалам, по элементам)
 - Модель Релея
- Нагрузки
 - Давление
 - Сосредоточенное усилие (сила, момент)
 - Инерционная нагрузка (ускорение)
 - Угловая скорость вращения
 - Термонагружение (температура в узлах)
 - Передача гидродинамических источников

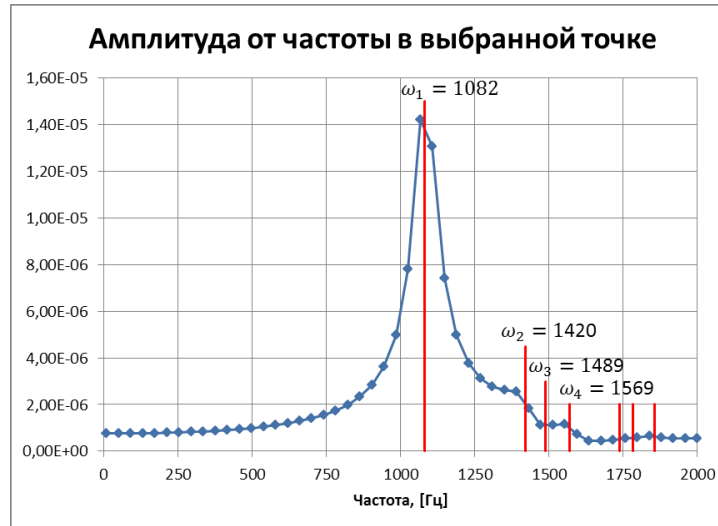
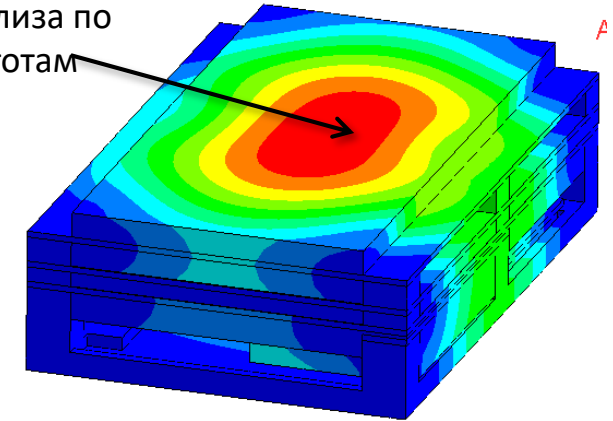
Геометрия прибора



- Полный метод
- Постоянное и материально зависимые демпфирования
- 50 частот по \vec{g}

Полная амплитуда, 1082 [Гц]

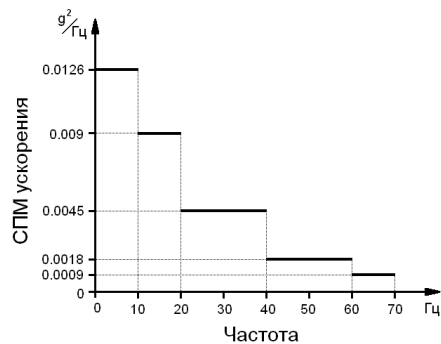
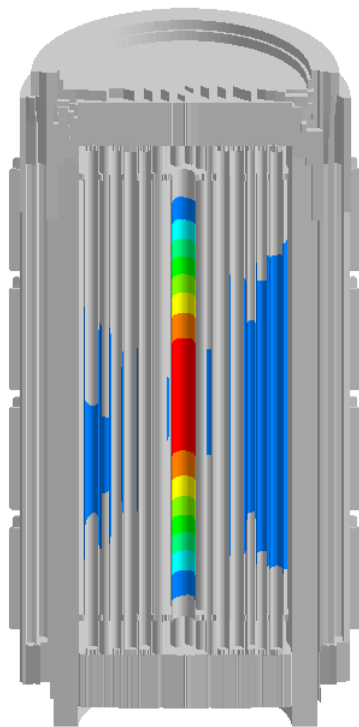
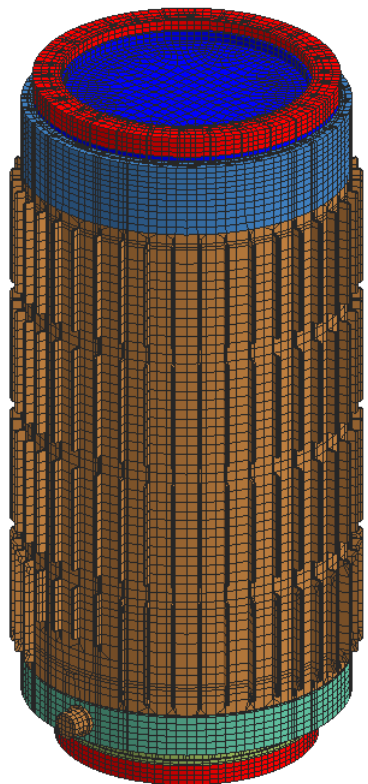
Закрепления
Точка для
анализа по
частотам



Вибрационная прочность

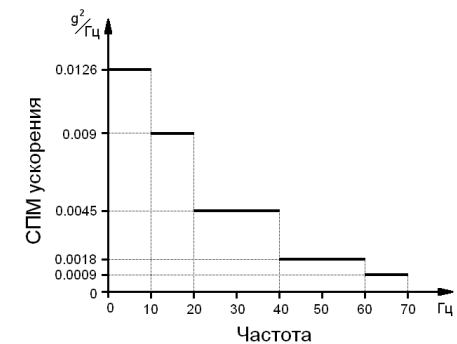
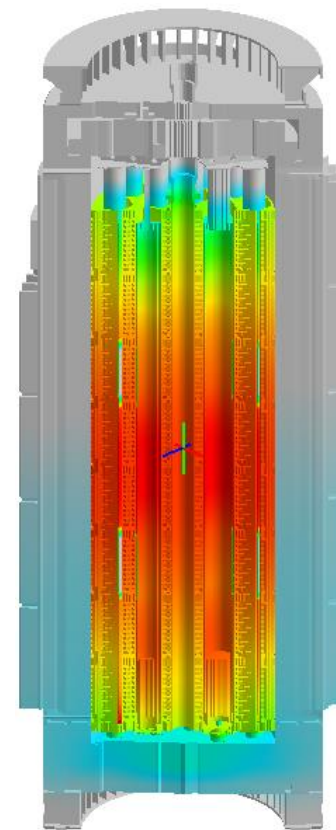
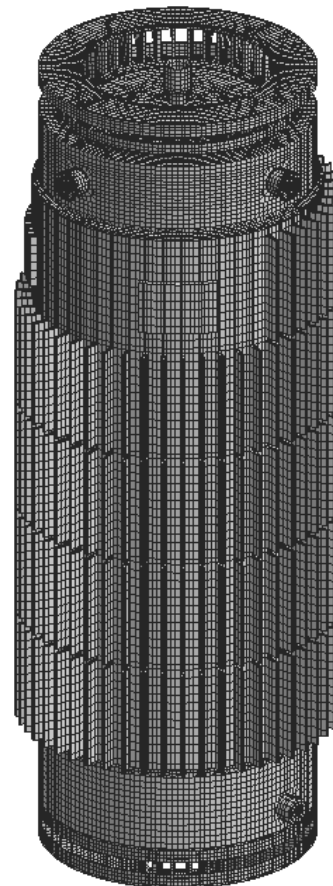
Расчет отклика транспортных упаковочных комплектов (ТУК) на действие ШСВ при транспортировании

ТУК-109Т (~6.8 млн уравнений)



	$\sigma_{u,max}$, [ММ]
Логос	0.120987

ТУК-137Т (~8 млн уравнений)



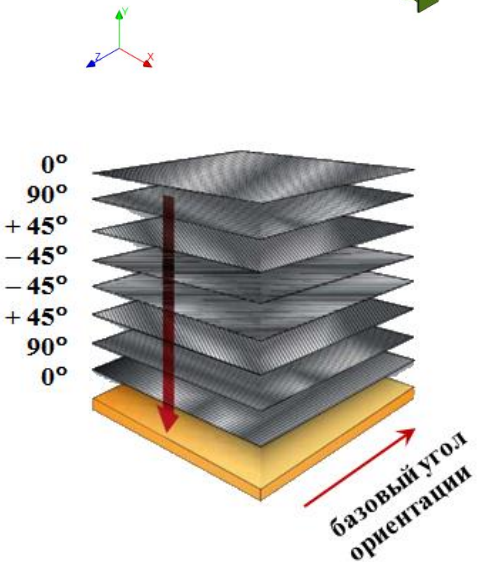
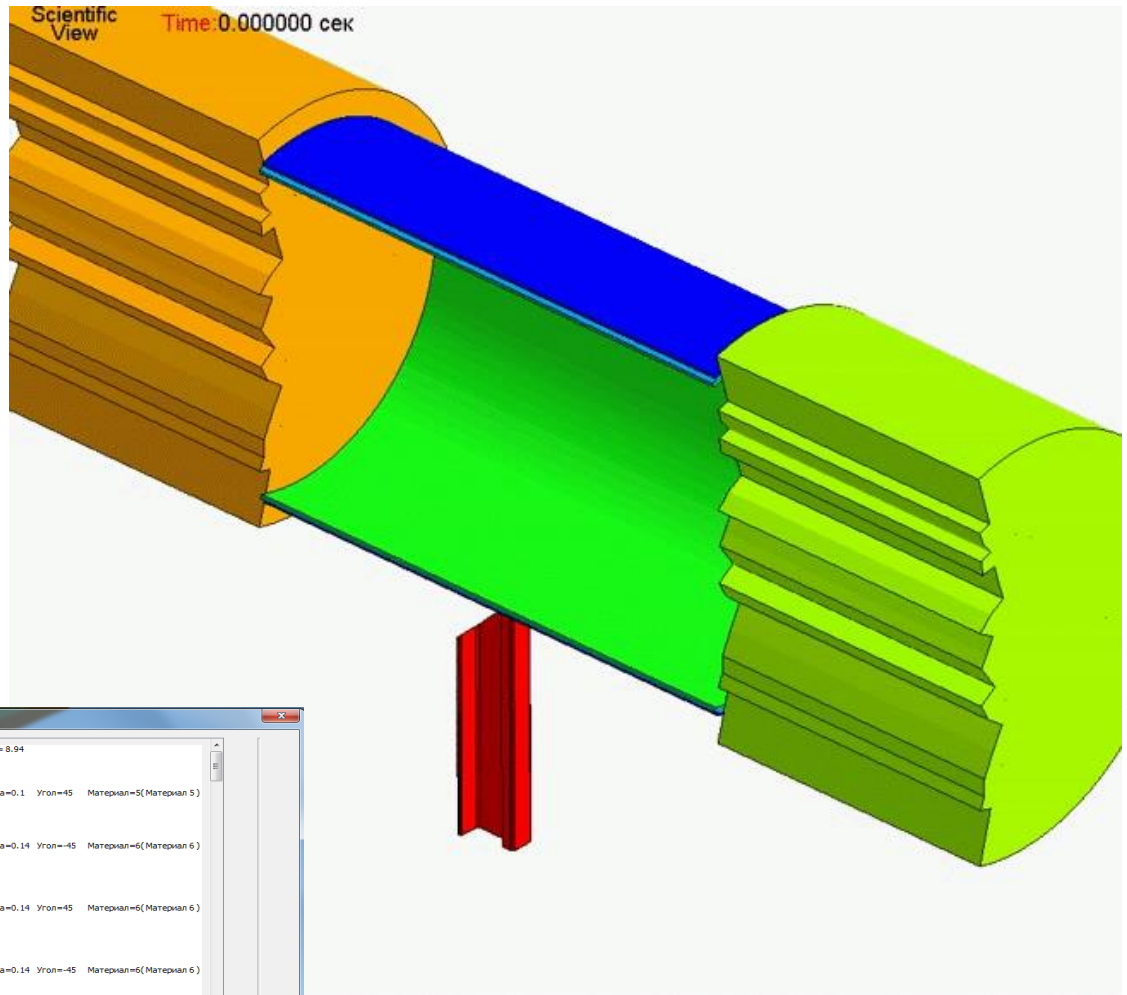
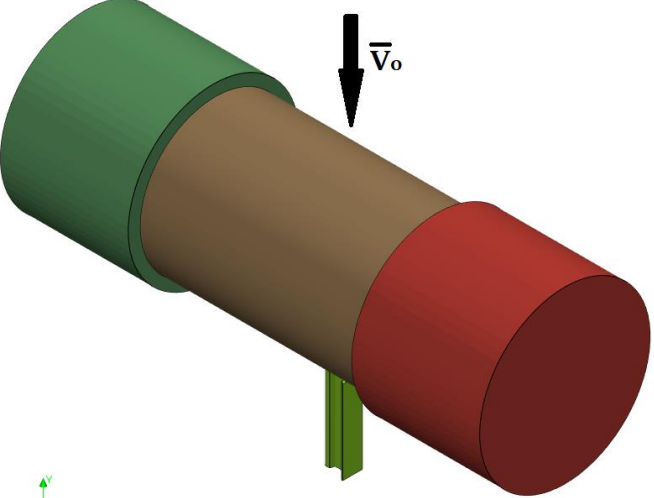
	$\sigma_{u,max}$, [ММ]
Логос	1.115853

ДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

- Явное интегрирование по времени
- 3D и 2D постановки (плоская, осесимметричная)
- МКЭ и SPH подходы
- Библиотека элементов
 - Объемные элементы
 - шестигранный с четырьмя типами различного интегрирования
 - тетраэдр (первого/второго порядка)
 - призма
 - пирамида
 - Оболочечные элементы
 - трехузловой и четырехузловой Хьюса-Лю
 - трехузловой и четырехузловой Белычко–Цая
 - Балочные элементы
 - Хьюса-Лю
 - Белычко–Цая
 - Специализированные элементы
 - сосредоточенная масса
 - пружина
 - демпфер
- Библиотека сглаживаний искажений типа «песочных часов»
 - Жесткостные
 - Вязкостные
 - Комбинированные
- Граничные условия
 - Кинематические закрепления
 - Навязанное перемещение
 - Условие совместности деформаций
 - Линейное многоточечное ограничение
 - Циклическая симметрия
 - Жесткие стенки
 - Шарнирные соединения
 - Пользовательские
- Нагрузки
 - Поверхностное давление
 - Узловые силы/моменты
 - Инерционная нагрузка в виде линейных поступательных ускорений
 - Тепловое нагружение
 - Внешние поля
 - Пользовательские
- Контактные алгоритмы
 - Автоматический и выборочный контакт для всех типов элементов
 - Учет силы трения
 - Перестройка контактных границ при разрушении
 - Метод штрафа/метод лагранжевых множителей
- Модели распараллеливания
 - MPI
 - OpenMP
 - Смешанная OpenMP + MPI
 - Максимальный размер практической задачи ~ 200 млн. конечных элементов, ~2000 MPI-процессов

ПРИМЕРЫ ЗАДАЧ ДИНАМИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ

Моделирование низкоскоростного падения конструкции из композитов с высоты на стальной штырь под действием силы тяжести



Просмотр слоев материалов

Общая толщина = 8.94

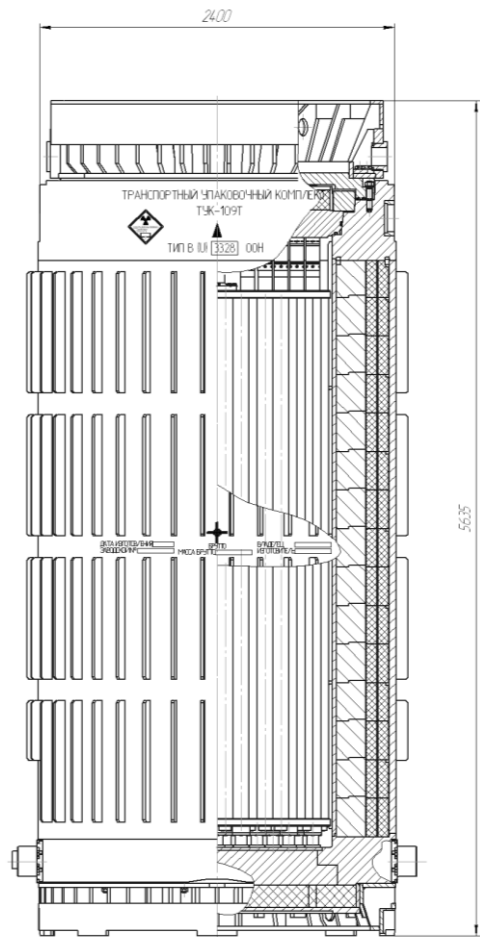
65:	Толщина=0.1	Угол=45	Материал=(Материал 5)
64:	Толщина=0.14	Угол=-45	Материал=(Материал 6)
63:	Толщина=0.14	Угол=45	Материал=(Материал 6)
62:	Толщина=0.14	Угол=-45	Материал=(Материал 6)
61:	Толщина=0.14	Угол=45	Материал=(Материал 6)
60:	Толщина=0.14	Угол=-45	Материал=(Материал 6)

Толщина: Постоянная Из слоя

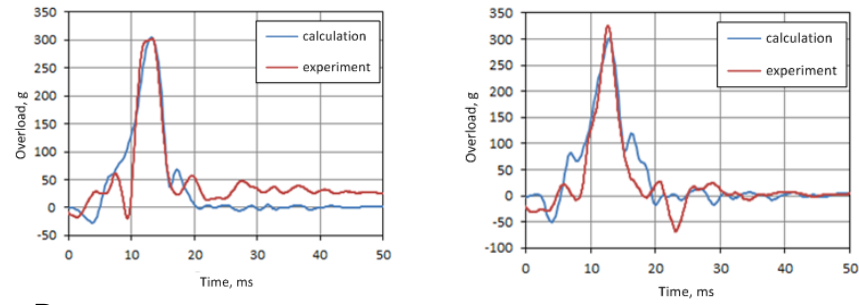
Опции: Углы Наименования Постоянный цвет Произвольный цвет

Закреть

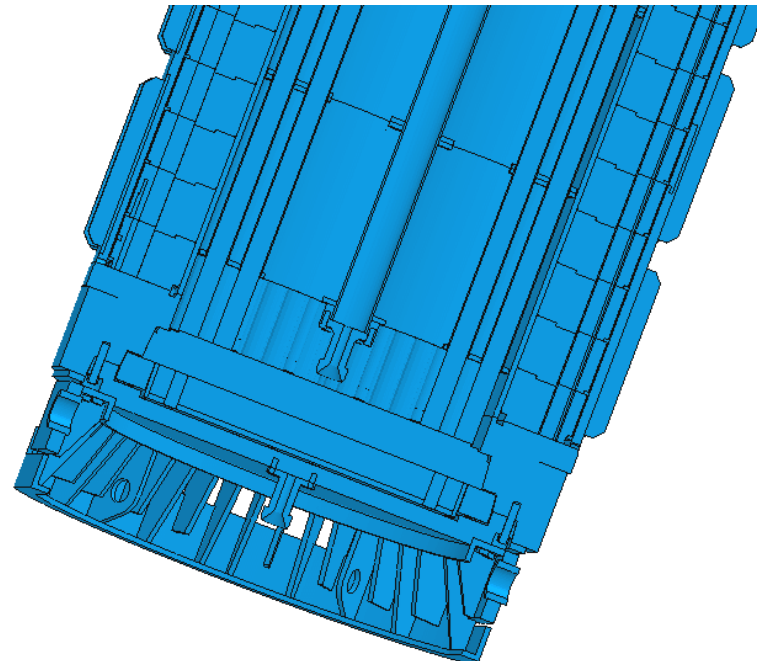
Определение перегрузок при падении



Общий вид ТУК-109Т



Расчетные и экспериментальные перегрузки



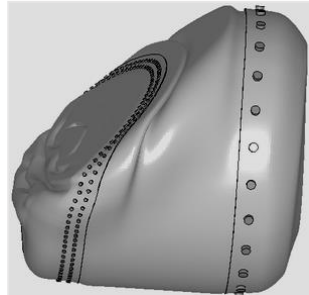
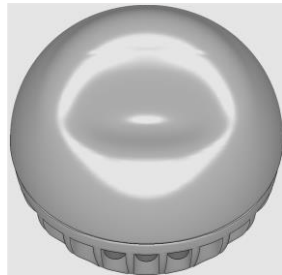
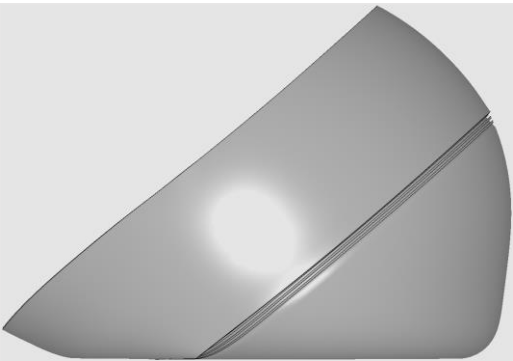
Угловое падение, Н=9м



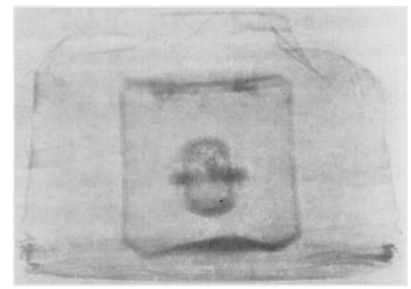
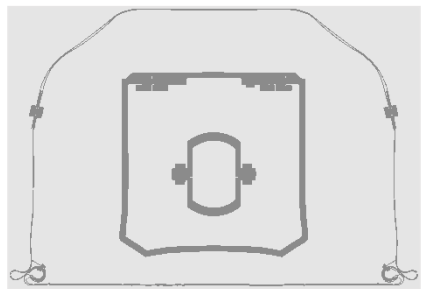
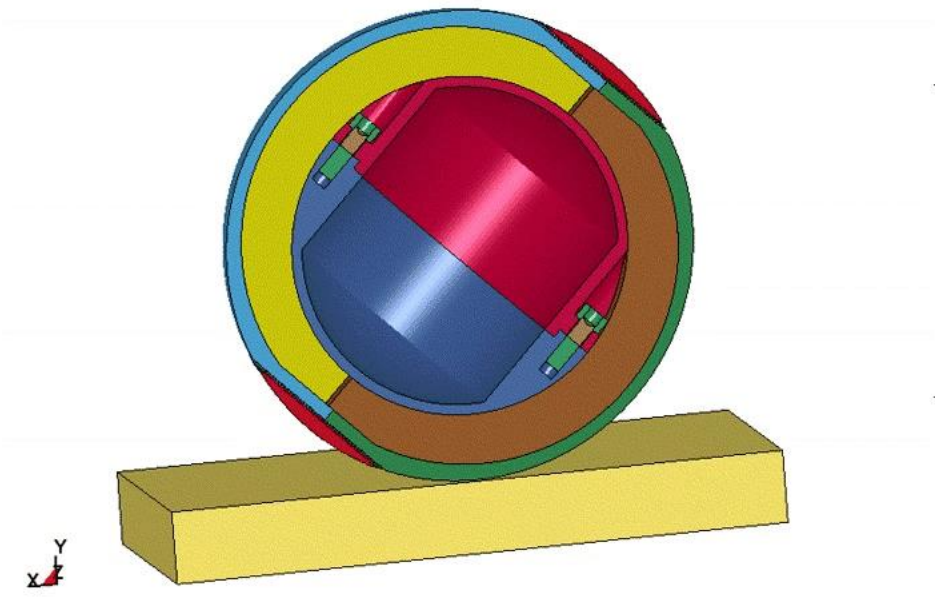
Испытательная установка

ПРИМЕРЫ ЗАДАЧ ДИНАМИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ

Применение Логос при разработке контейнера для транспортирования



ЛОГОС

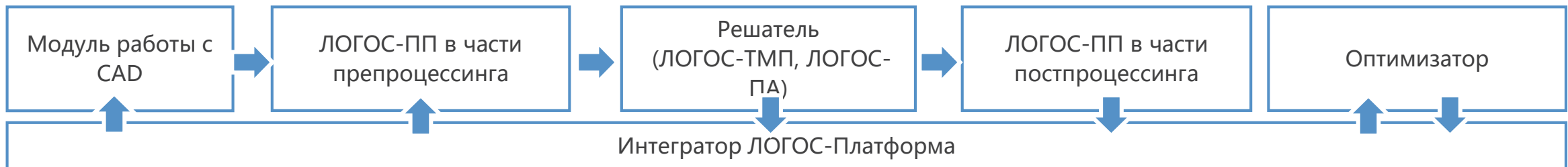
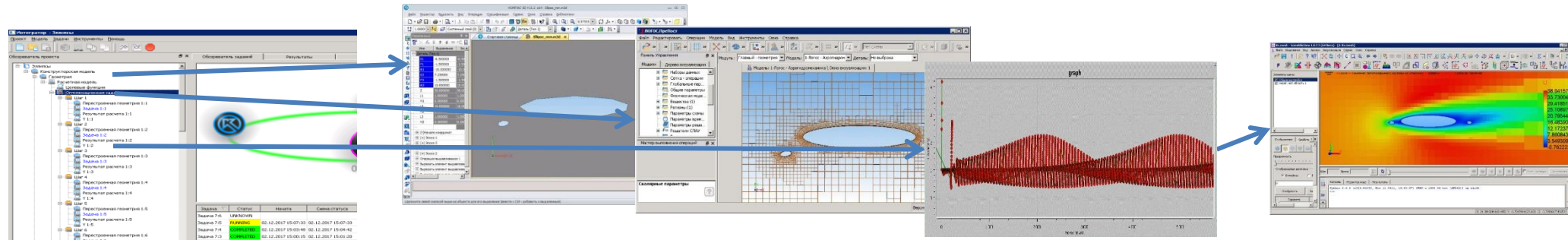


ПРОГРАММНЫЕ ПРОДУКТЫ:

Среда обеспечения управлением сквозным циклом расчетного моделирования, проведения параметрических и оптимизационных исследований

ПОЛЬЗОВАТЕЛИ:

- решение задач параметрической и геометрической оптимизации параметров расчетной модели
- параметрические исследования с изменением геометрических и расчётных моделей
- проведение серий расчётов на супер-ЭВМ в удаленном режиме
- базовый графический интерфейс платформы обеспечения сквозного расчётного обоснования проектных решений и организации хранения данных

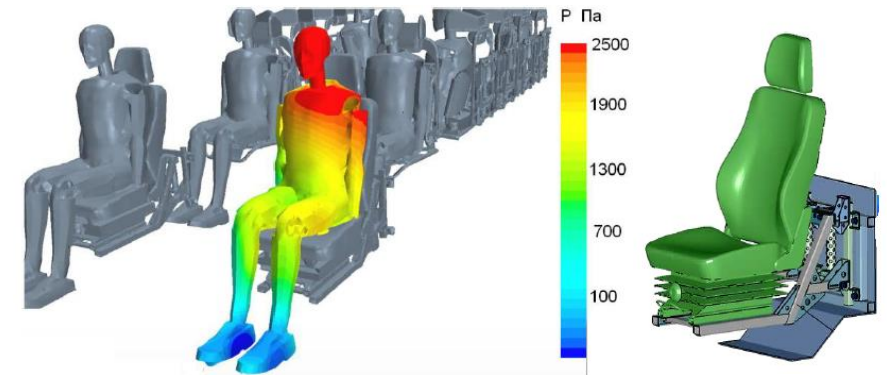
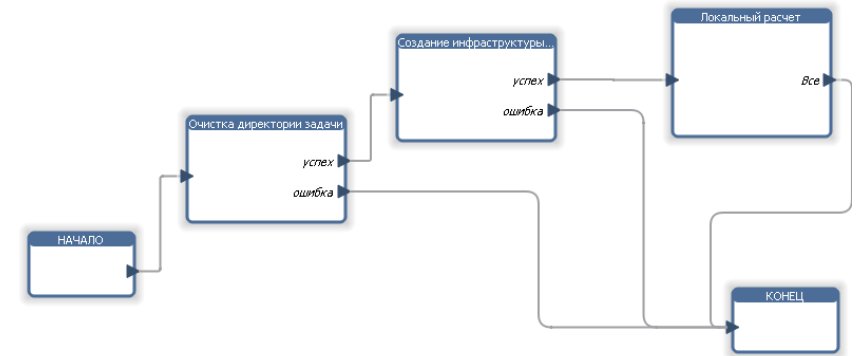
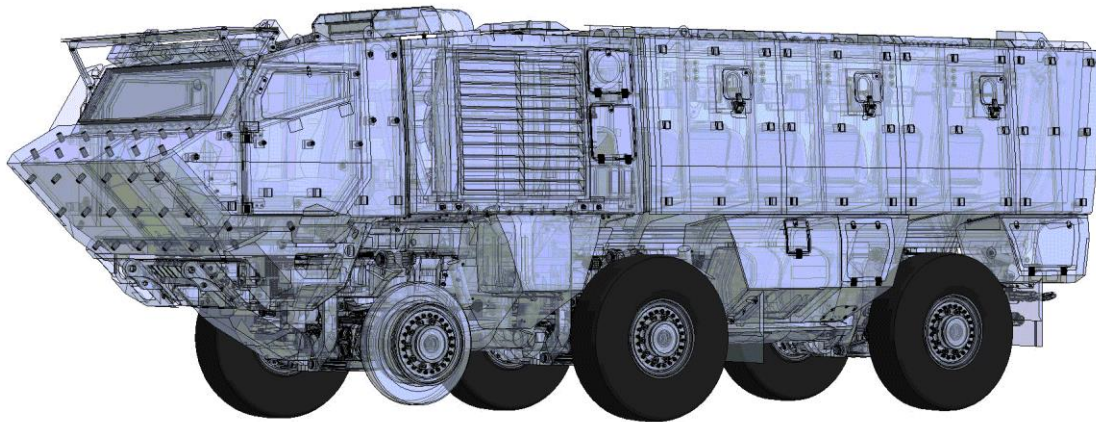


Сопряженные и связанные задачи. Аэродинамика – Прочность

Воздействие на технику специального назначения

- Логос Аэро-Гидро - определение газодинамического воздействия взрывного характера на автомобиль
- Логос Прочность - расчет напряженно-деформированного состояния конструкции и перегрузок экипажа

ЛОГОС® Time:0.000000 мс



Снижение перегрузок за счет специальной конструкции сидений



Сопряженные и связанные задачи

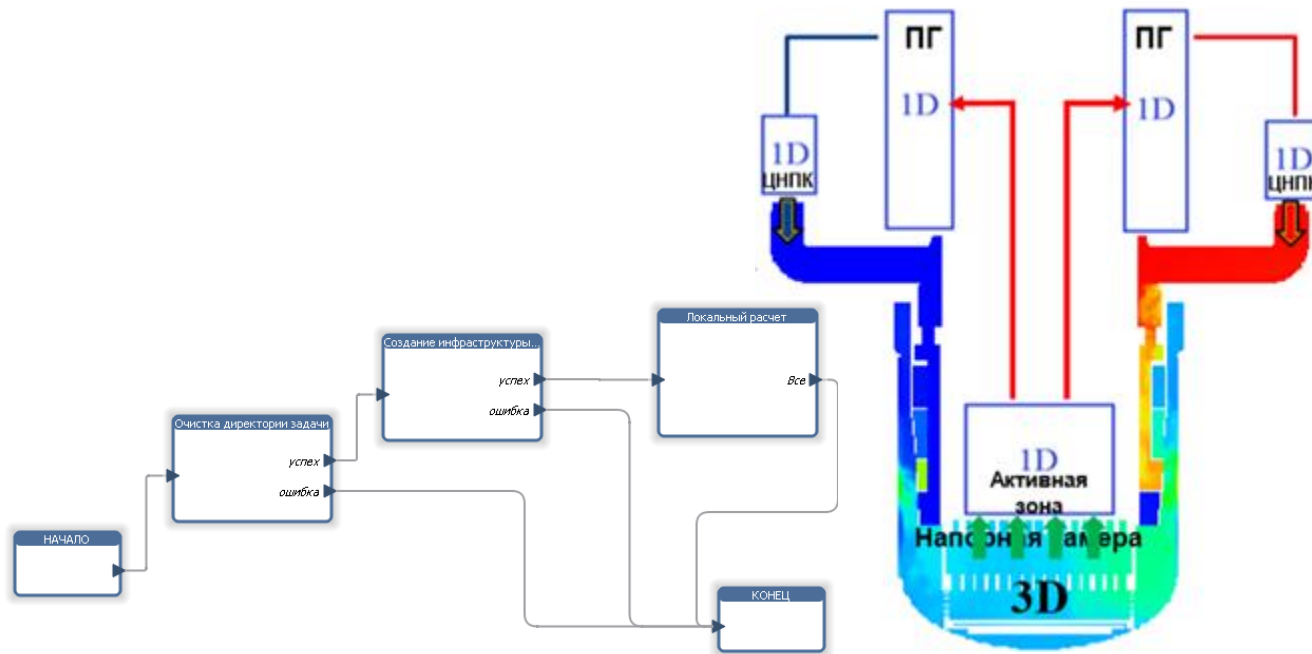
Полномасштабное связанное моделирование работы установки при нарушениях нормальной эксплуатации (отключение парогенераторов, насосов, ...)

Технология связанного 1D-3D моделирования

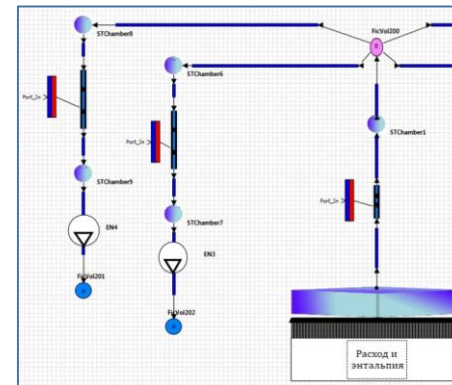
1D-код
 Одномерная теплогидравлика с учетом двухфазности и влияния нейтронно-физических эффектов в основном оборудовании

3D-код Логос
 Трехмерное течение теплоносителя в напорной камере на основе полной геометрии с учетом сложных нестационарных тепловых эффектов

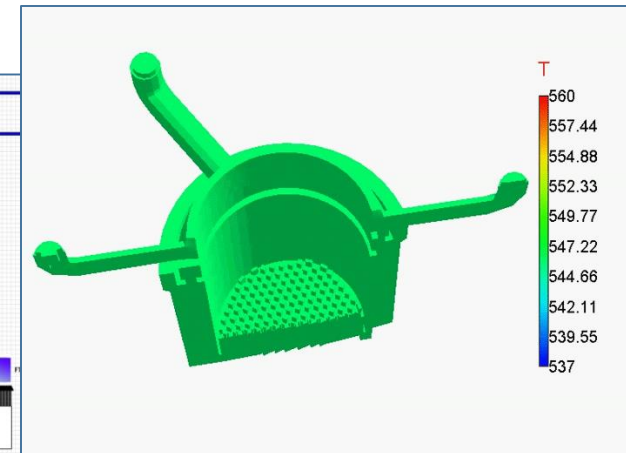
Учет работы систем управления (Simintech)



Расчетная 1D-3D модель (учитывается все основное оборудование ПГБ)



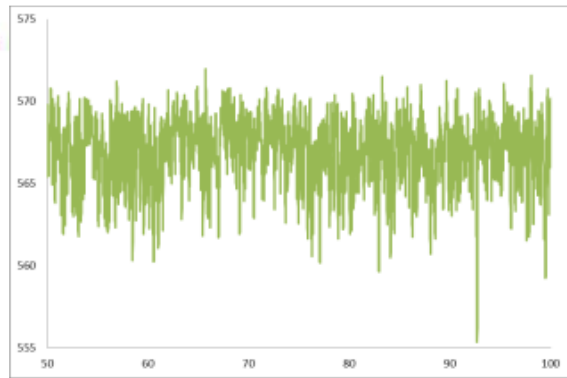
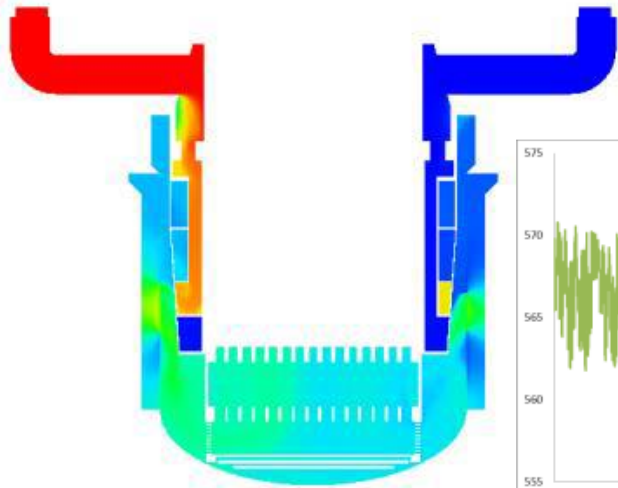
1D модель



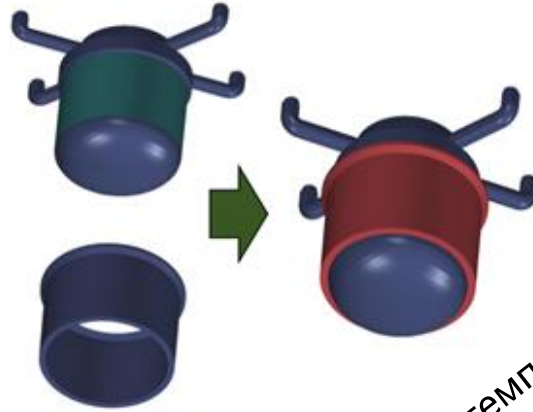
3D модель

Сопряженные и связанные задачи. Гидродинамика, теплообмен - Прочность

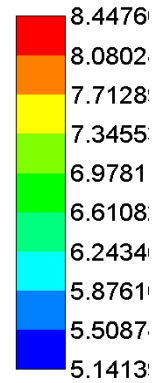
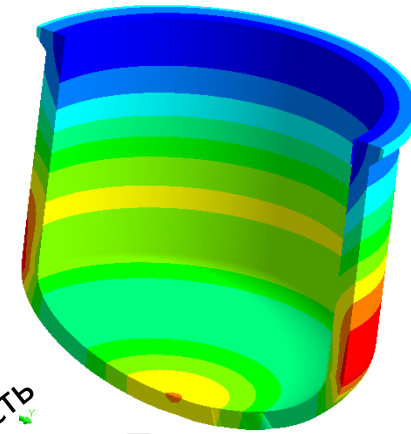
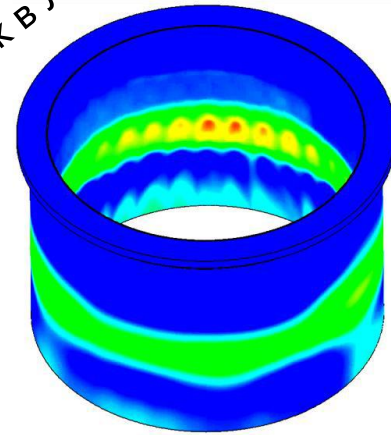
Влияние нестационарных температурных полей в напорной камере на НДС корпуса реактора РИТМ-200



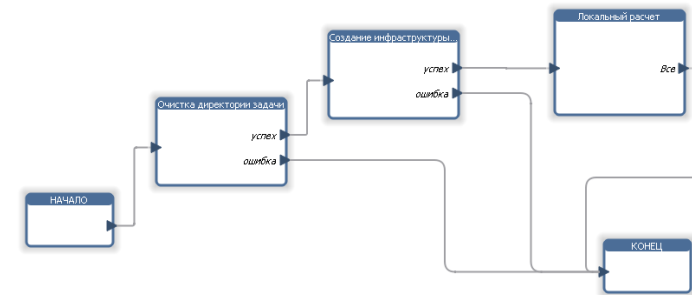
Пulsации температуры в корпусе (°C)



Передача температурных нагрузок в Логос Прочность

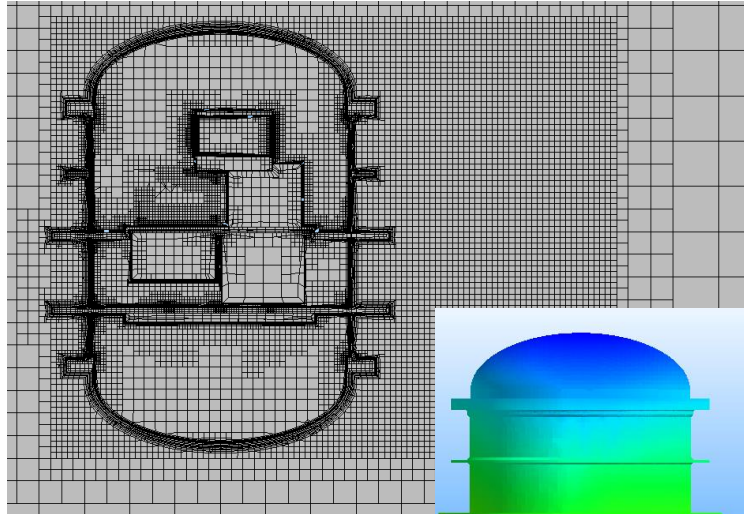
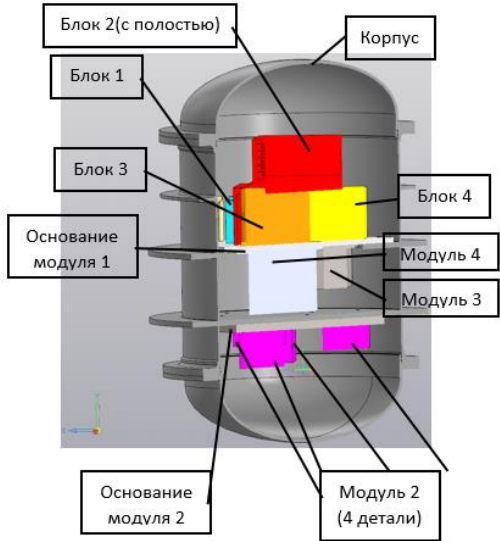


Поле перемещений, мм

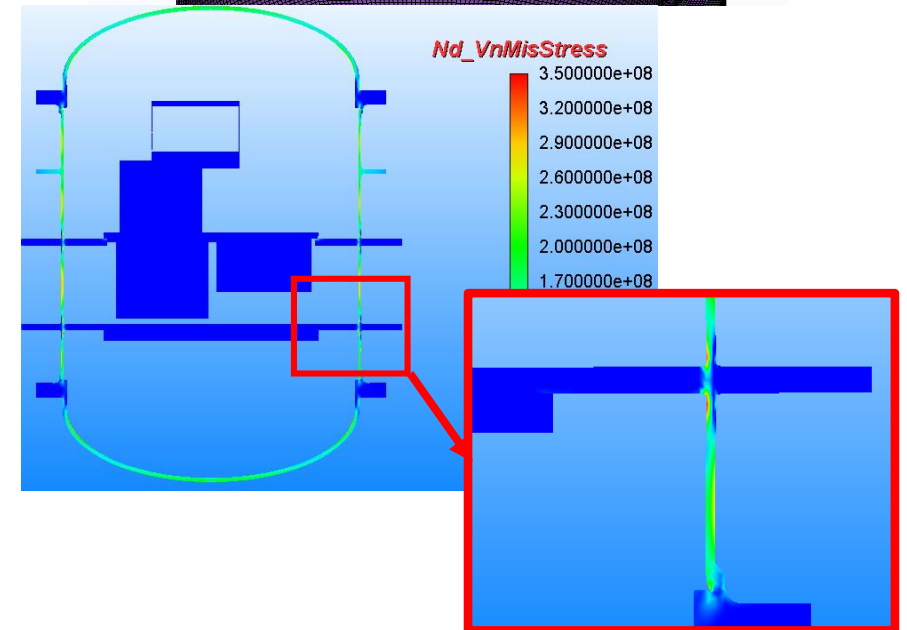
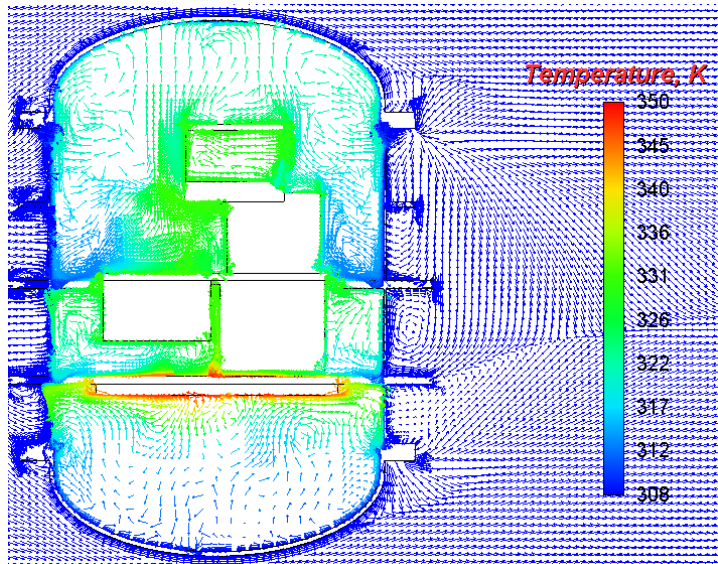
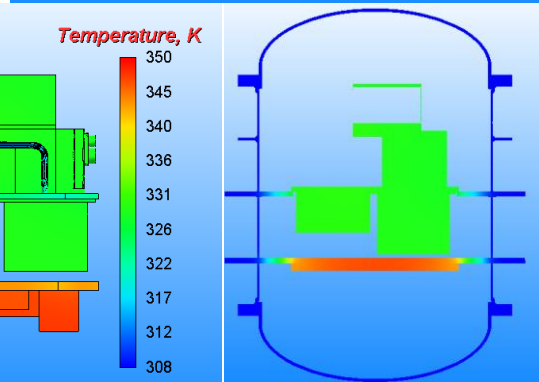
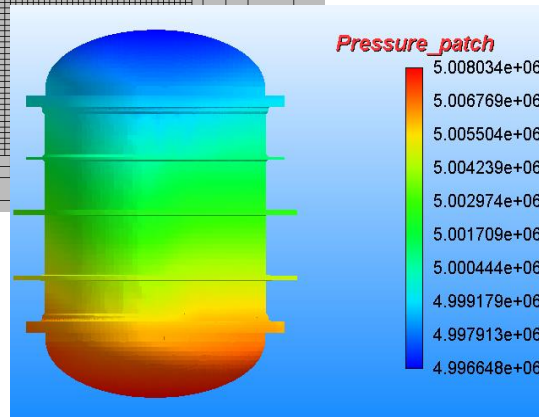
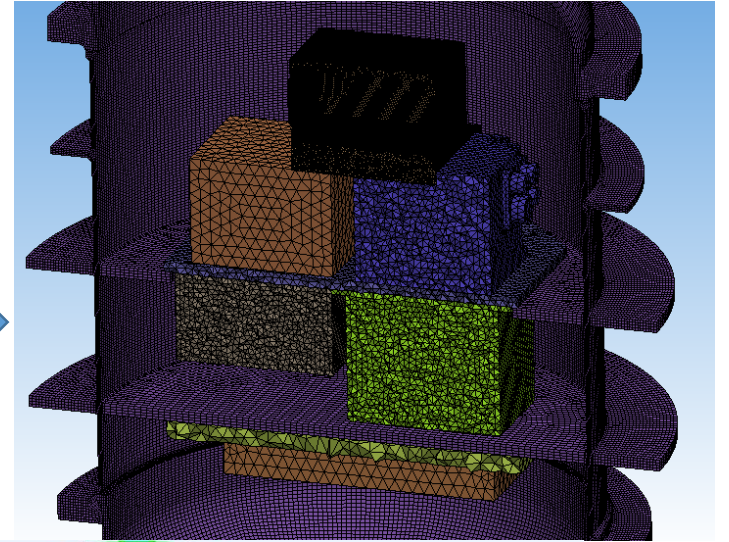
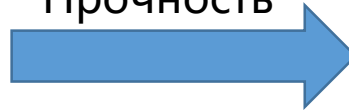


	Макс. перемещение, мм	Макс. напряжение по Мизесу, МПа
ПП Логос	8.448	662
Эталонное решение	8.448	662

СОПРЯЖЕННЫЕ И СВЯЗАННЫЕ ЗАДАЧИ. ГИДРОДИНАМИКА (ТЕПЛОБМЕН)- ПРОЧНОСТЬ



Давление и температура в Прочность



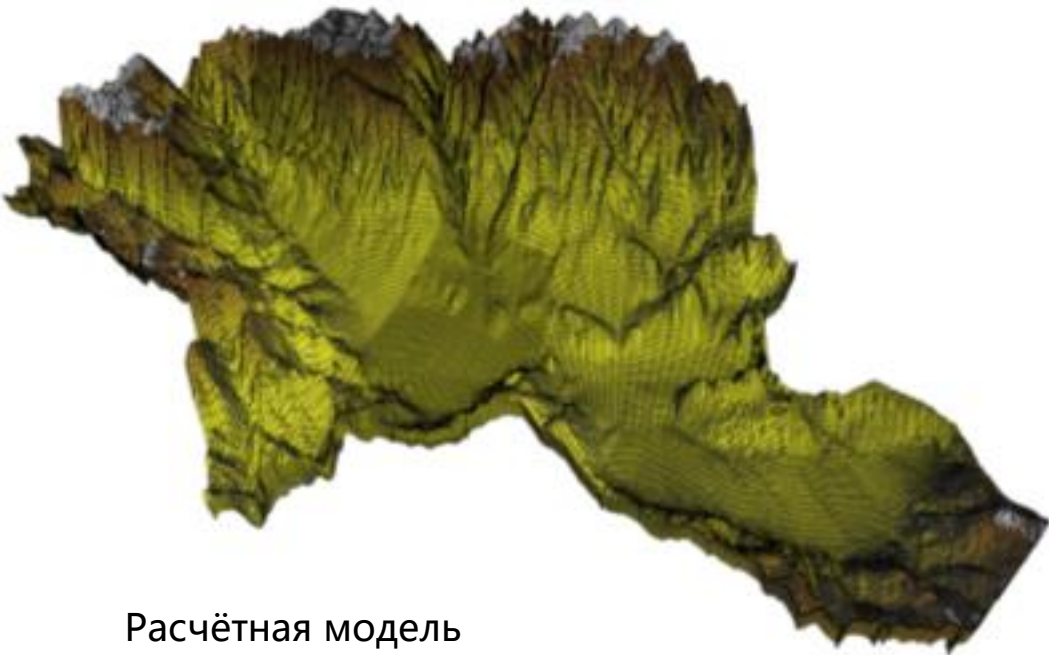
Логос Гидрогеология

Модель района Токтогульского водохранилища

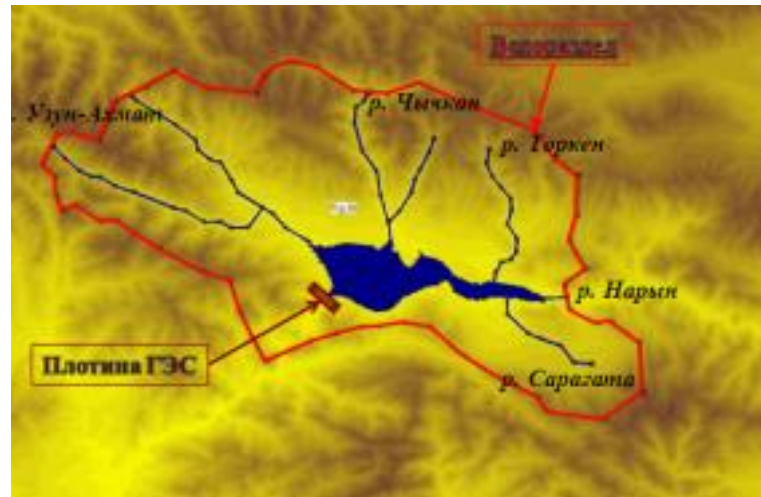
Заказчик: Институт водных проблем и гидроэнергетики Национальной академии наук (Киргизия)



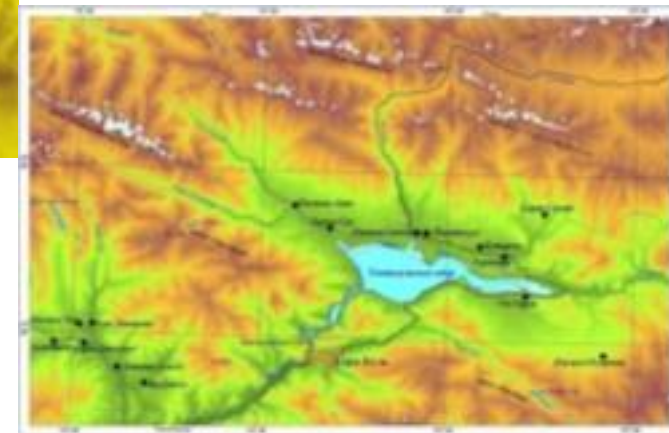
РФЯЦ-ВНИИЭФ
РОСАТОМ



Расчётная модель



Карты бассейна
Токтогульского
водохранилища



Цель исследования: Прогнозирование качества и уровня воды Токтогульского водохранилища.

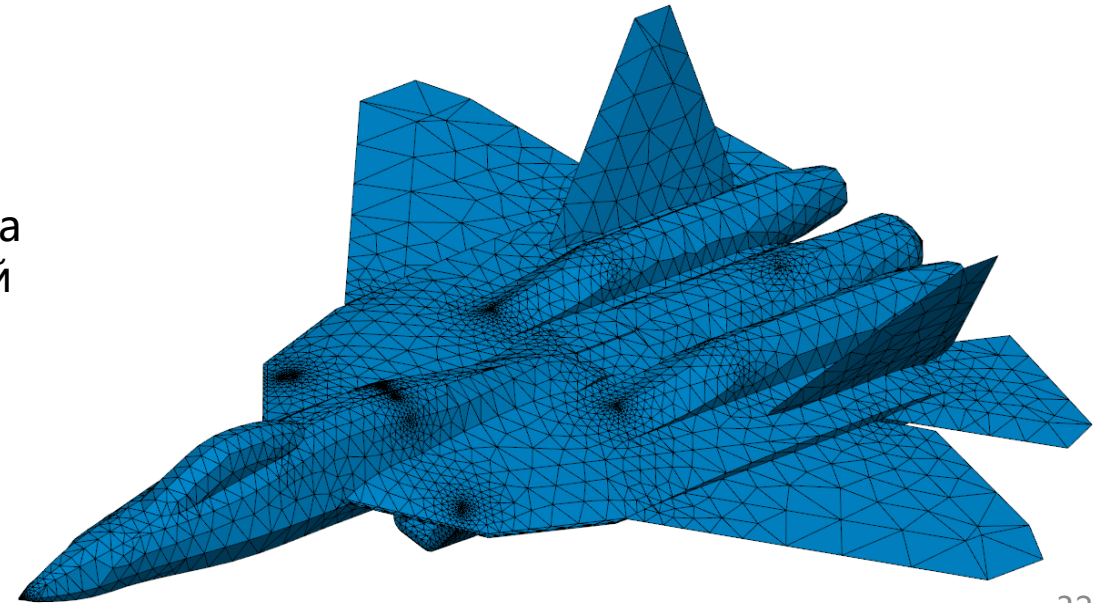
Результат: Создана динамическая модель течения подземных вод окрестностей Токтогульского водохранилища. Особенность модели – перепад высот 3км.

Численное моделирование электродинамических процессов:

- моделирование антенн, излучаемых полей в дальней и ближней зоне
- рассеяние электромагнитных волн на объектах сложной геометрической формы с учетом электрических и магнитных характеристик материалов
- характеристики отражения, поглощения и прохождения электромагнитных волн через слоистые магнито-диэлектрики

Методы математического моделирования

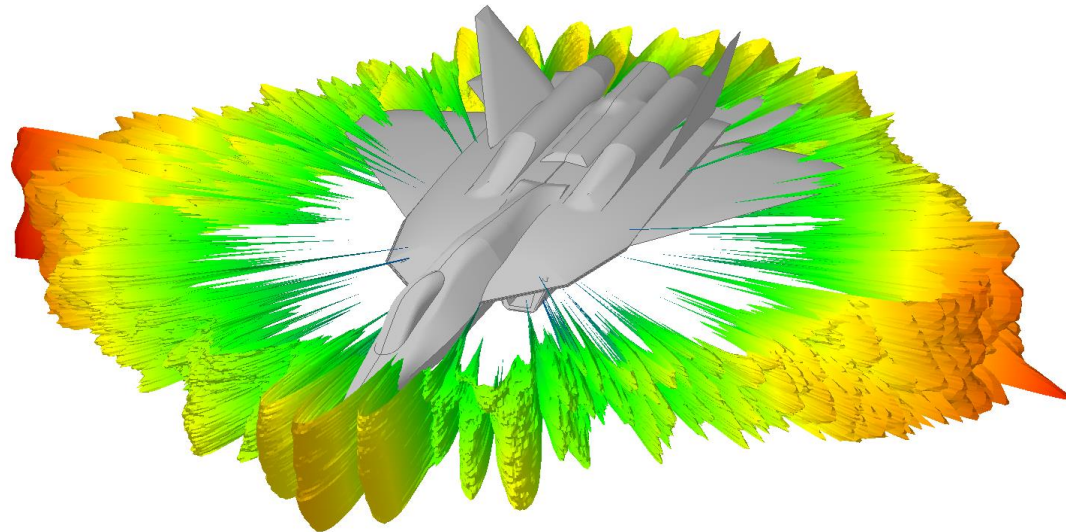
- Метод конечных элементов (FEM) в частотной области
- Многоуровневые методы моментов (MOM) в частотной области с использованием мозаично-скелетонных и мультипольных аппроксимаций, прямых и итерационных решателей СЛАУ
- Высокочастотные асимптотические методы, основанные на физической (PO), геометрической оптике (GO) и физической теории дифракции (PDT)



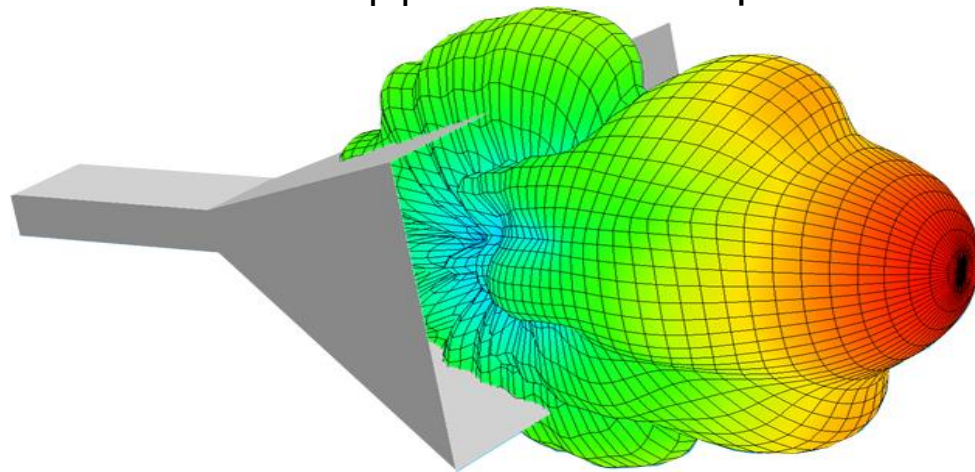
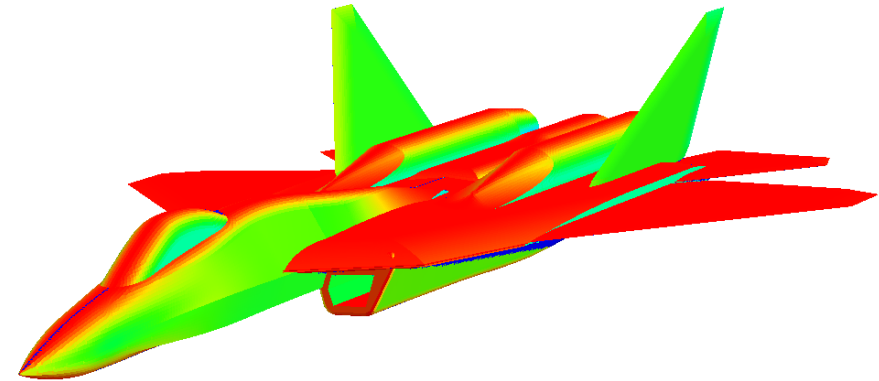
Примеры расчётов в ЛОГОС ЭМИ



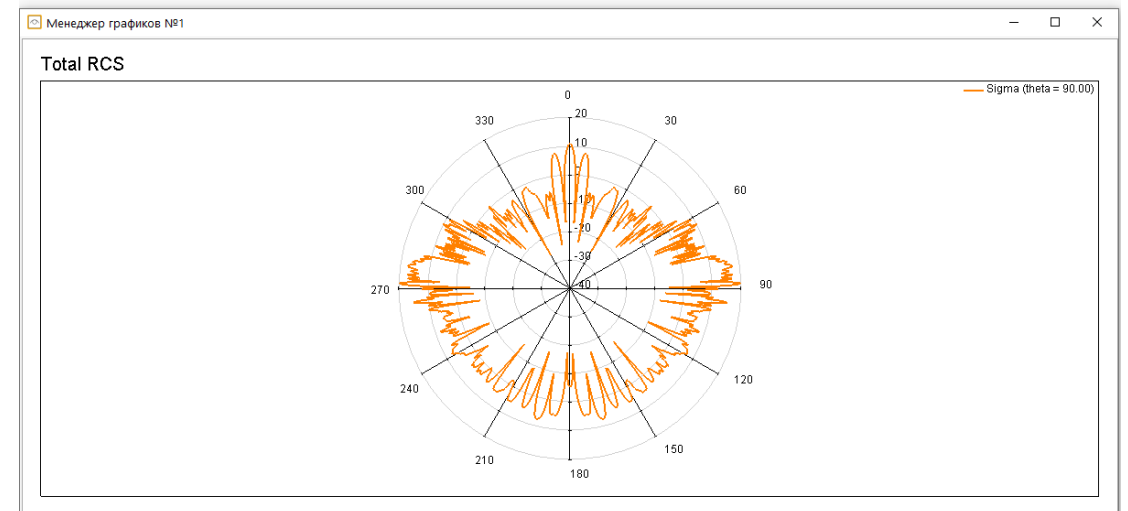
ЛОГОС ЭМИ
РОСАТОМ



Расчёт эффективной поверхности



Расчёт антенно-фидерных устройств (АФУ)



Построение графиков, визуализация результатов расчётов