

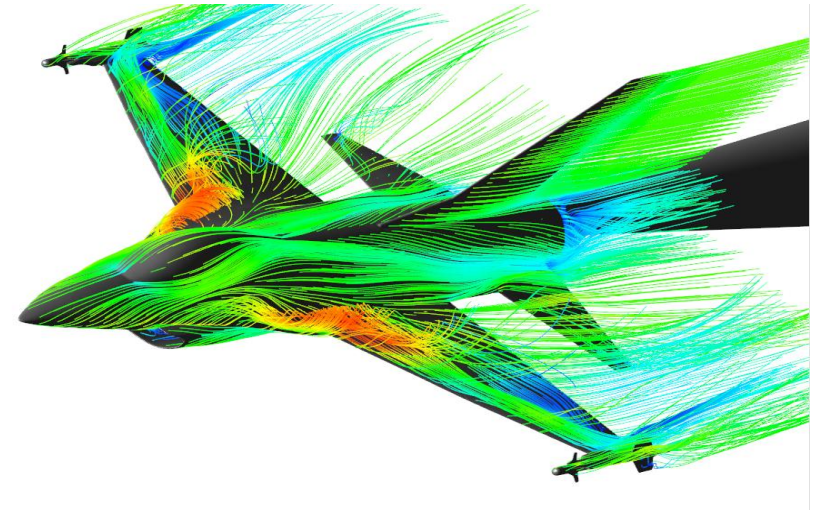
FlowVision

FlowVision сегодня и завтра

FlowVision – general purpose CFD code

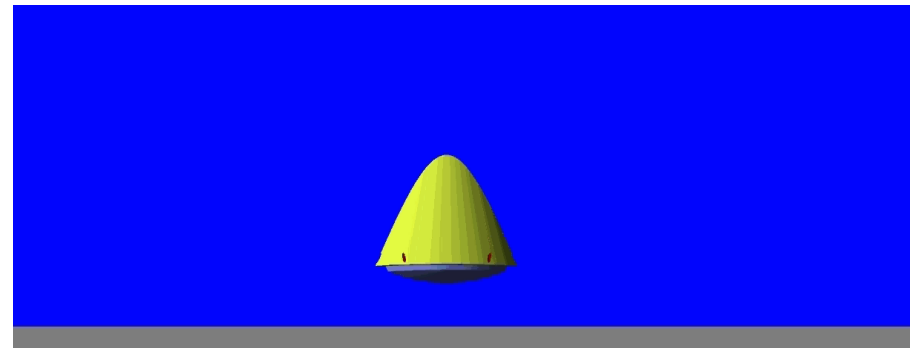
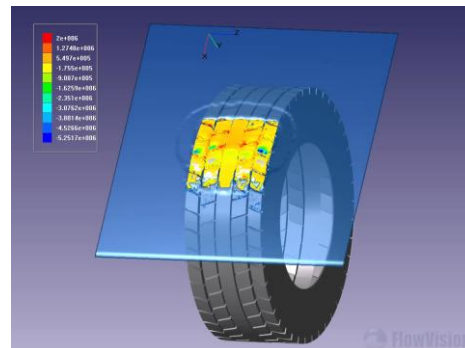
Main application areas

- Fluid-structure-interaction
- External & internal aerodynamic
- Turbo machinery
- Multi-phase flows
- Aerodynamic shape optimization

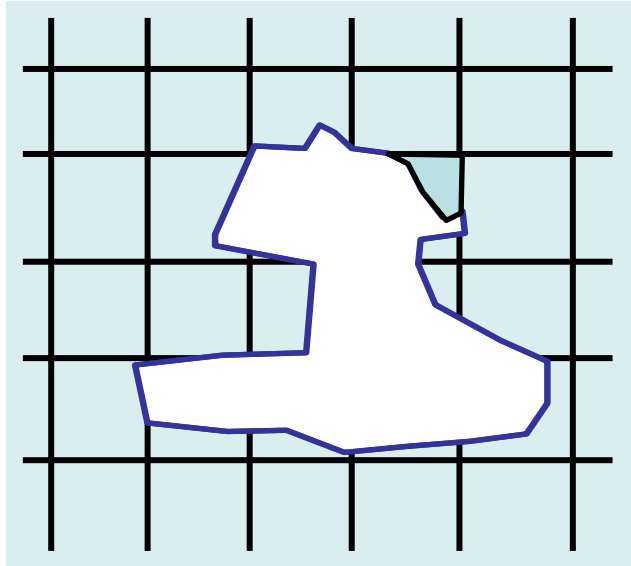


FlowVision key features

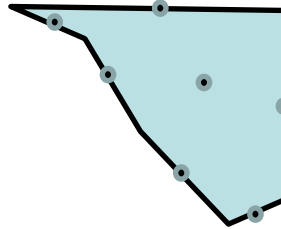
- Fully automatic generation of a mesh with local dynamic adaptation
- Resolution of boundary layers, no restricted by the surface complexity
- Simulating strong fluid-structure interaction
- Simulating multiphase fluid motion with contact surfaces
- A wide range of physical models (turbulence, mass transport, chemistry, burning, dispersed phase)
- Calculations on modern supercomputers with heterogeneous parallelism (> 10 000 cores,> 100 mln cells)



Subgrid Geometry Resolution is key point of FV technologies



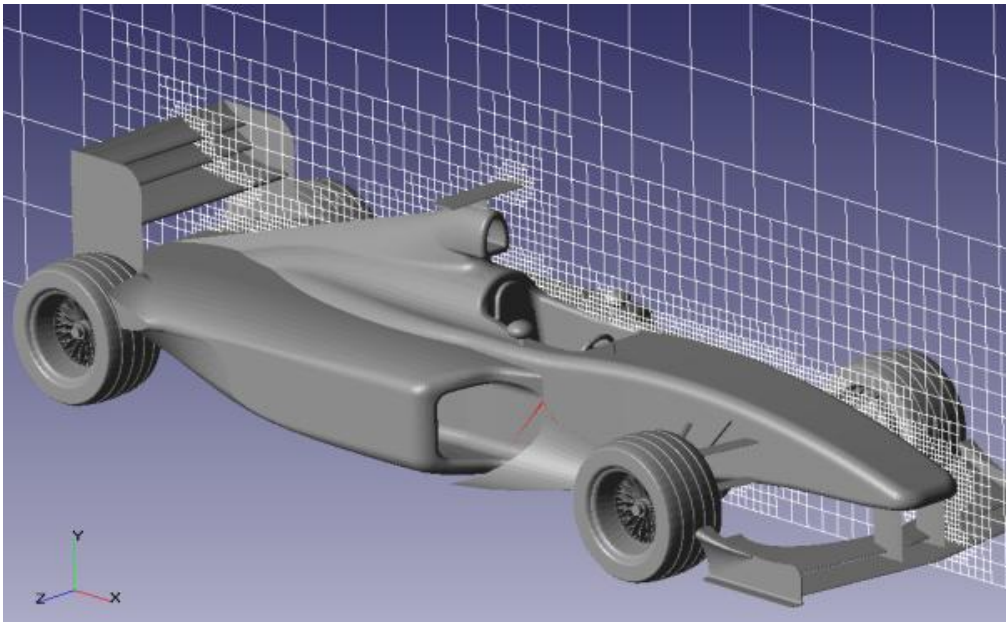
Finite-volume approach is used to approximate equations on this mesh



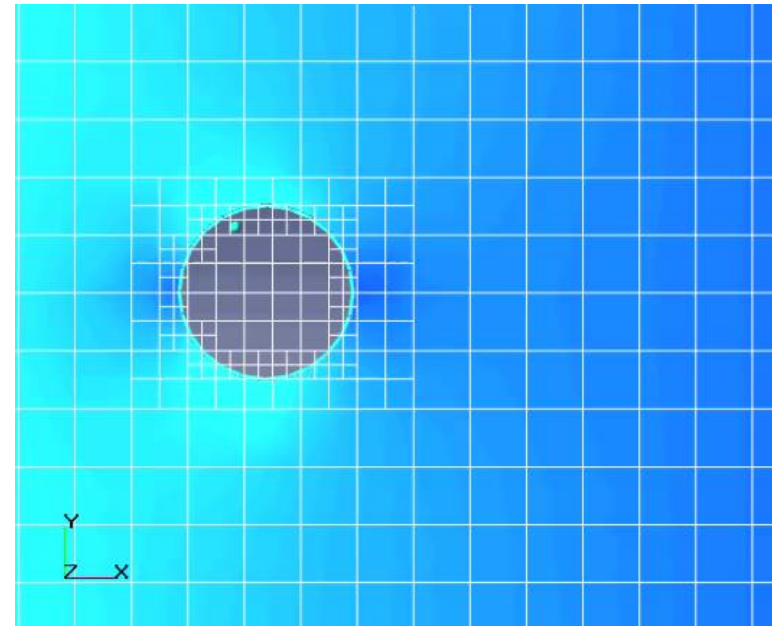
- Rectangular initial non-uniform mesh
- Shape imported as facet B-rep (STL, WRL)
- Boolean subtraction of object volume from initial mesh
- Cell is arbitrary polyhedron

Local Dynamic Mesh Adaptation

- to raise simulation accuracy by resolving high gradients of flow variables
- to save computer resources using fine meshes in places where they are need



Dynamic adaptation near surfaces

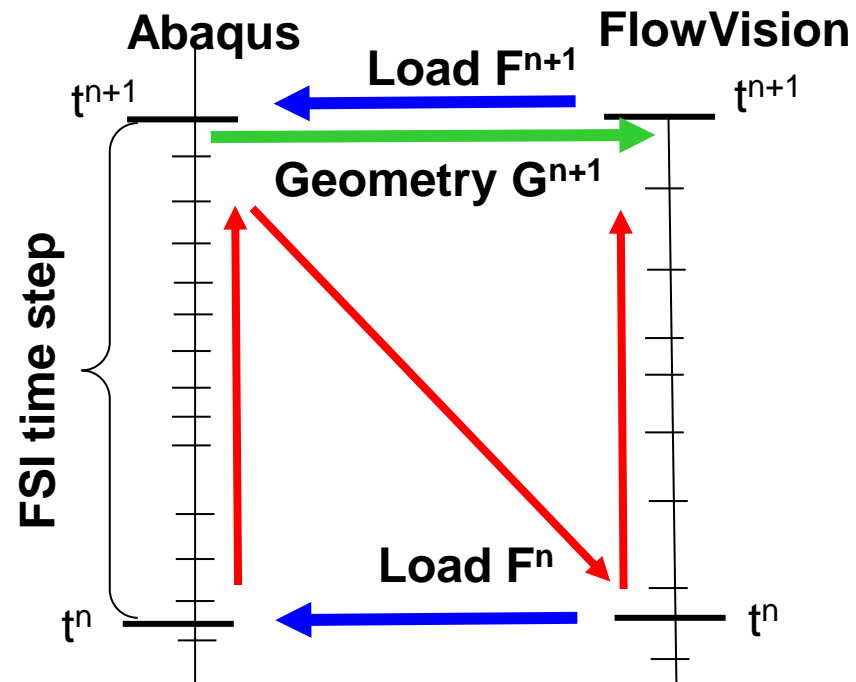


Dynamic adaptation due to a velocity gradient

Coupling technics between Abaqus and FlowVision

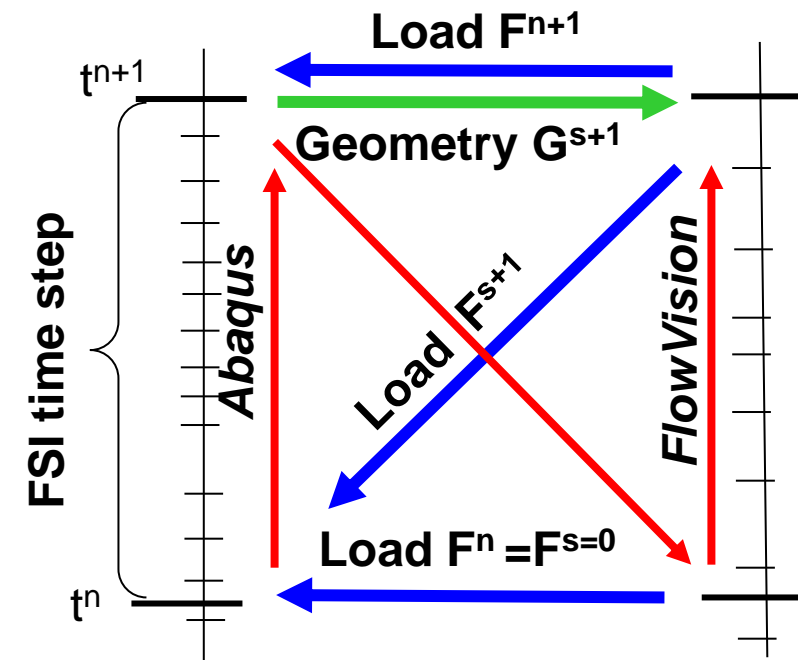
Explicit coupling

DC and CSE protocols



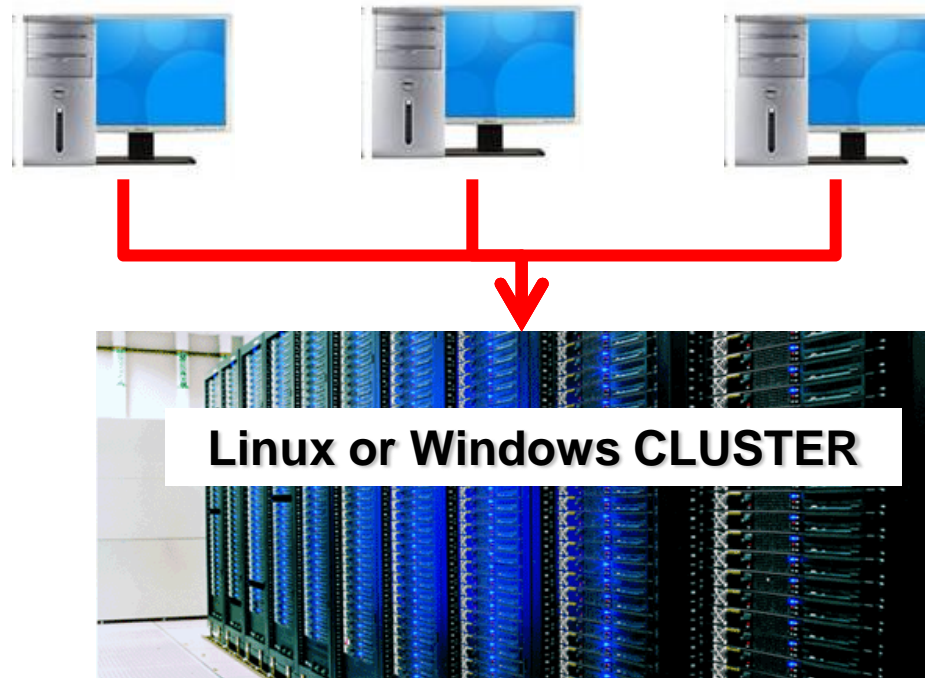
Implicit coupling

CSE protocol



Client-Server Architecture

- Windows user can work on Linux cluster without knowing Linux OS
- Several users can simultaneously work with one **FlowVision** solver and share simulation results

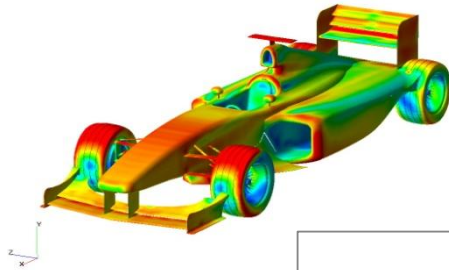


High performance computing

- Distributed-memory computer model
- Shared memory
- Automatic domain decomposition
- MPI architecture



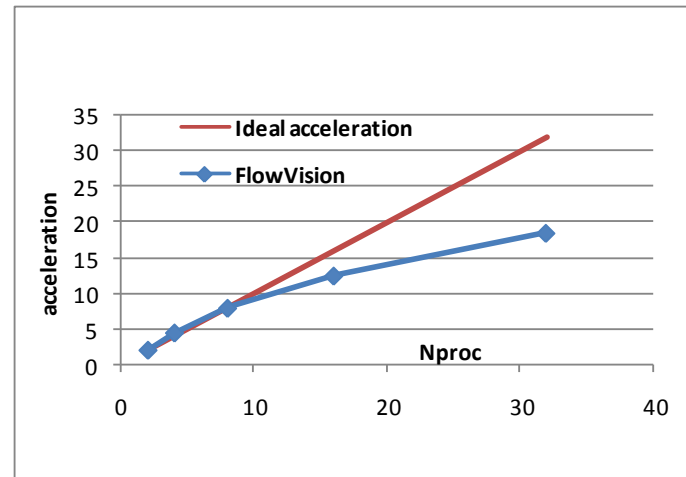
Cluster



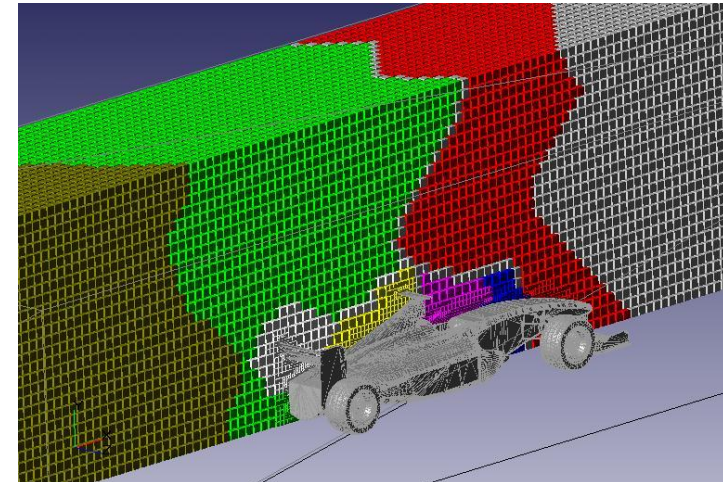
Formula-1 simulation on a cluster

Cluster: 16 nodes, 4 cores/node, 2GB memory, 1.4GHz frequency, Myrinet

Solver Scalability



Domain decomposition onto several processors



Parallel visualization

Data processing needed for visualizing results (building color contours, isolines, plots, isosurfaces, ...) may take long time when it is performed on one processor. **FlowVision** provides parallel postprocessing:

- Required computations are performed on several processors
- Minimum data volume is collected on the client machine

PC computer

Metadata collection



Transmission of
Graphical Metadata

Graphical Metadata is a «feedstock»
for drawing objects in post-processor

Cluster

Parallel generation of
Graphical Metadata



Advantages of parallel visualization:

- Number of cells may be arbitrarily big
- Visualization is fast

FlowVision – Physical models

- **Navier-Stokes equations for Newtonian and non-Newtonian fluids;**
- **Turbulence models:**
 - k- ϵ “standard” model (Launder-Spalding),
 - k- ϵ AKN Low-Reynolds number model (Abe-Kondoh-Nagano),
 - k- ϵ quadratic non-linear stress-strain/vorticity model,
 - SST k- ω model (Menter),
 - One eq. eddy viscosity model (Spalart-Allmaras);
 - KEFV model – our model for laminar-turbulent transfer
- **Multiphase flows of immiscible fluids with free surfaces at accounting for surface tension;**
- **Conjugated heat transfer;**

FlowVision – Physical models (continuation)

- **Gas combustion, limiting reaction rate by turbulence;**
- **Mass transfer:**
 - Multicomponent flows (unlimited number of agents);
 - Chemical kinetic (unlimited number of agents);
 - Nuclear half-decay of agents
- **Radiation heat exchange (simple P1 model, thick optical layer);**

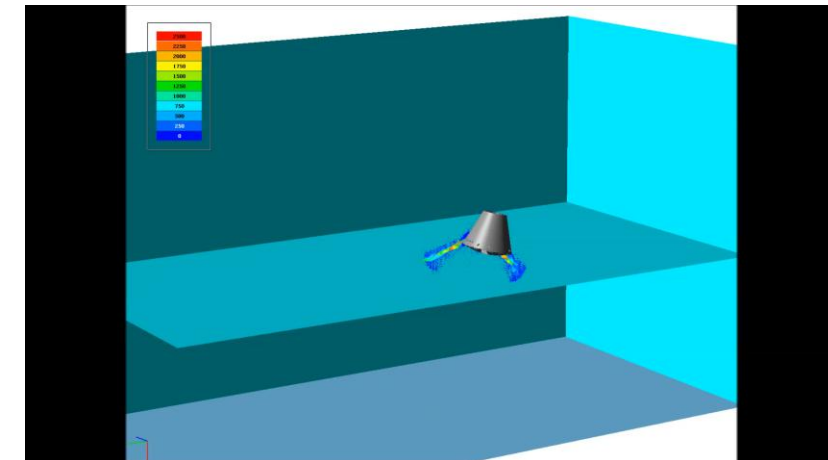
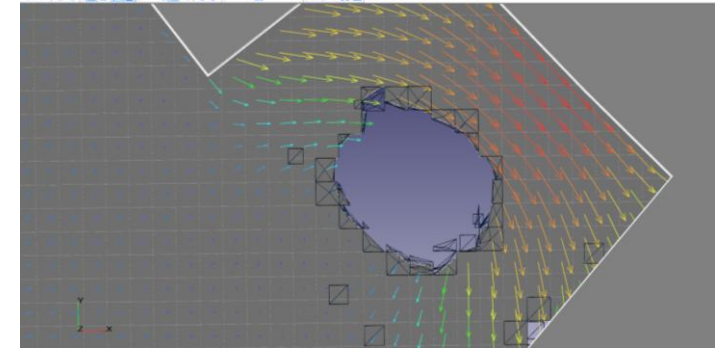
FlowVision – Simulation methods

- **Mechanics of moving rigid bodies:**
 - 6 degrees of freedom,**
 - accounting for medium resistance on body moving,**
 - accounting for mass & inertial characteristics;**
- **Strong fluid-structure interactions: solving conjugated problems together with FEM package of SIMULIA Abaqus;**
(Connection on pressure, temperature and displacement of wall surfaces)
- **User variables: trigonometric, statistic, logical, integral, local, hyperbolic and etc.;**
- **Rotor/stator coupling**

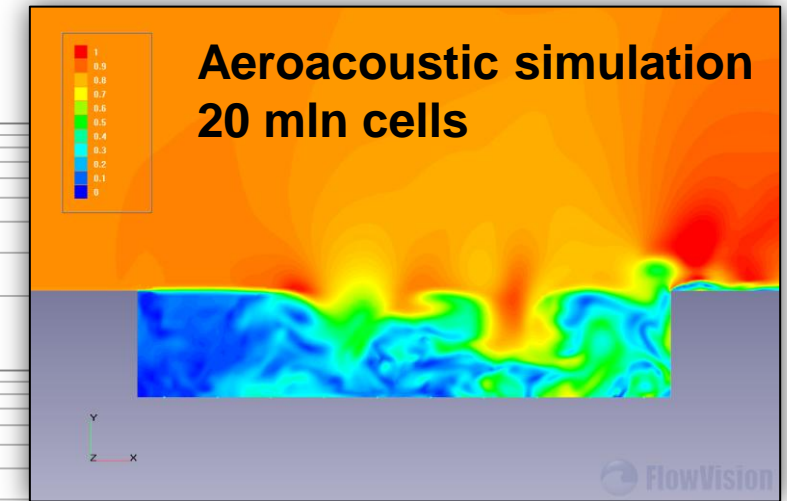
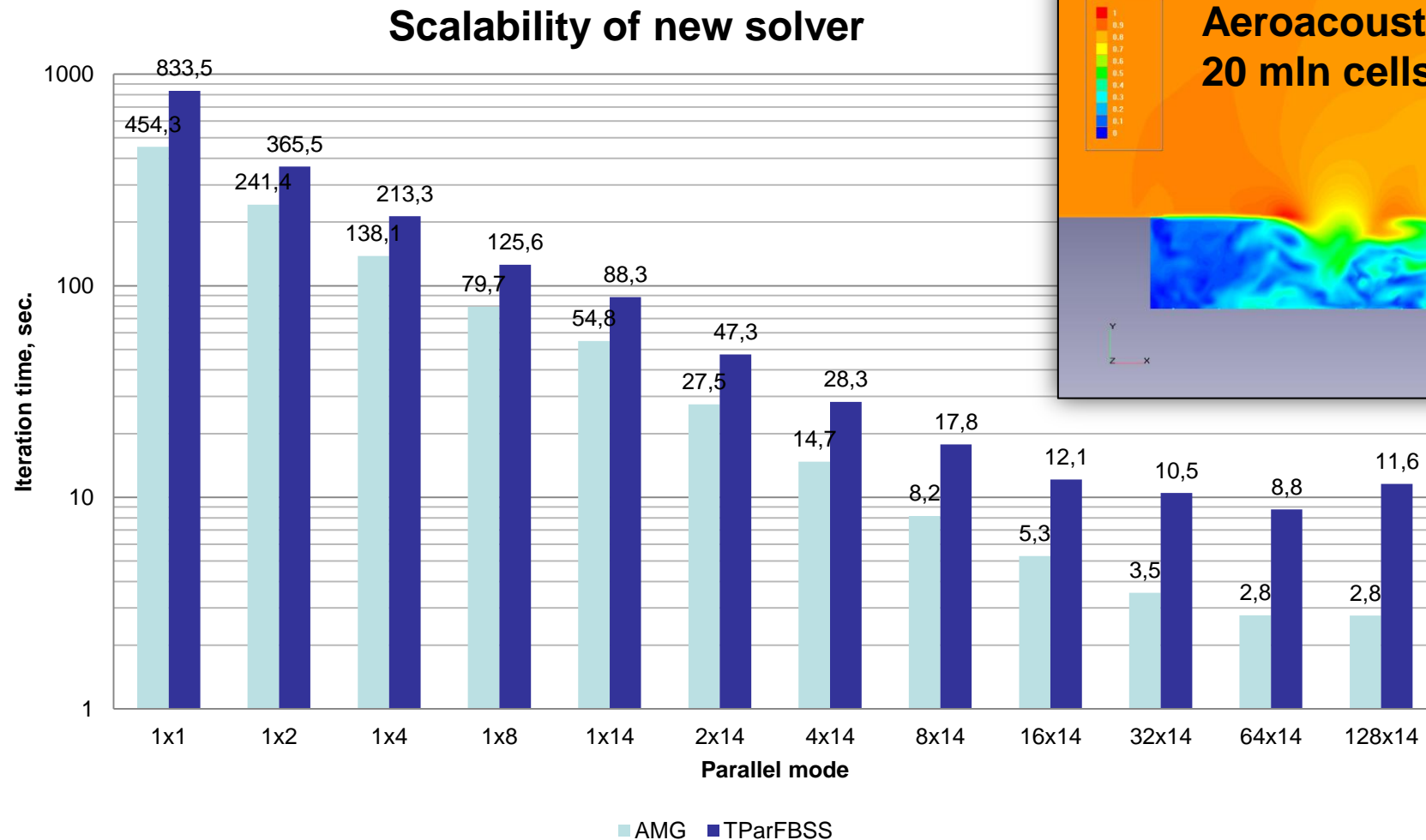
What is new in 3.09.05

More accurate and robust VOF method

Droplets (water volumes that cannot be resolved by mesh) are moving like Lagrange particles: droplets move inside cell

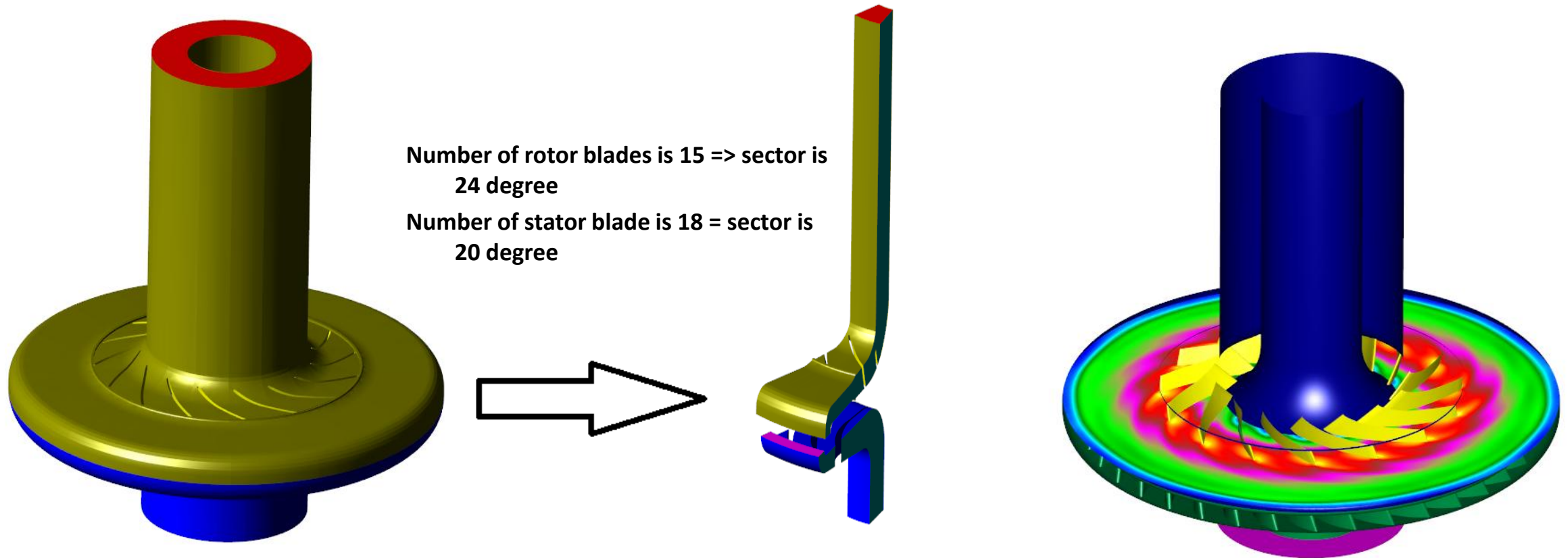


New family of algebraic solvers – AMG solvers (aggregative and selective AMG)



Simulating rotating machines using sliding mesh (in sector)

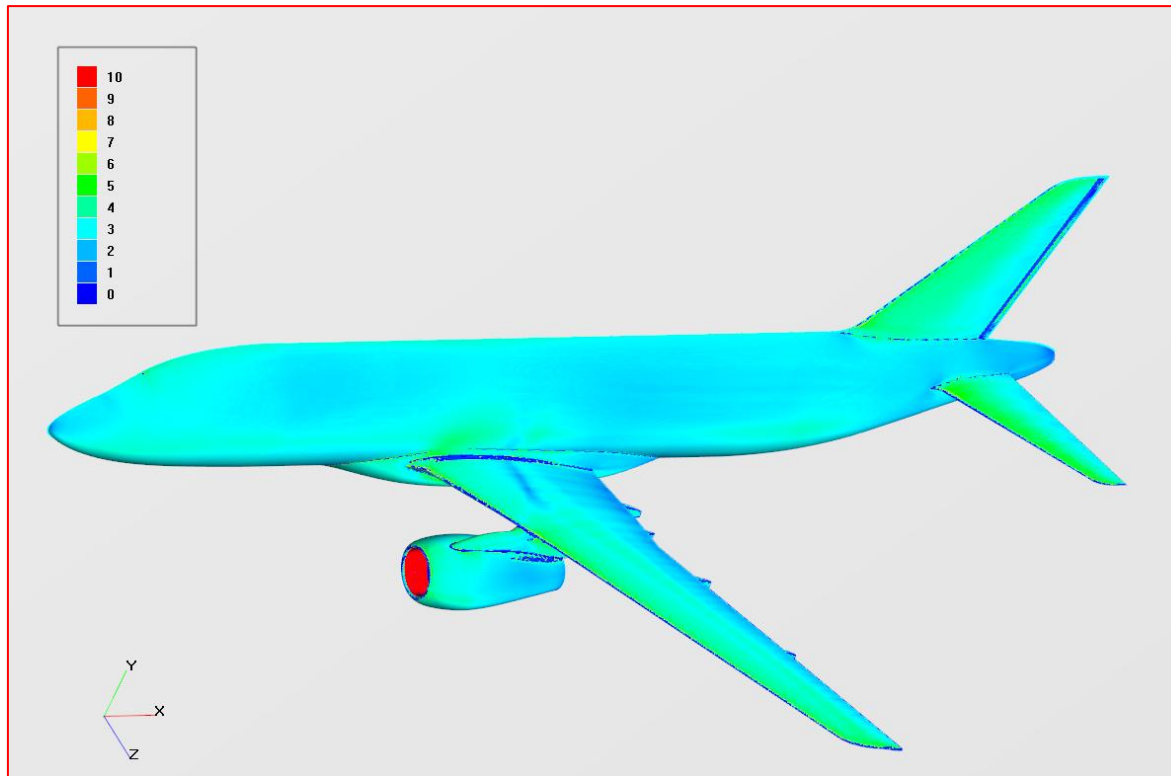
Simulating water pump with multiblade wheel



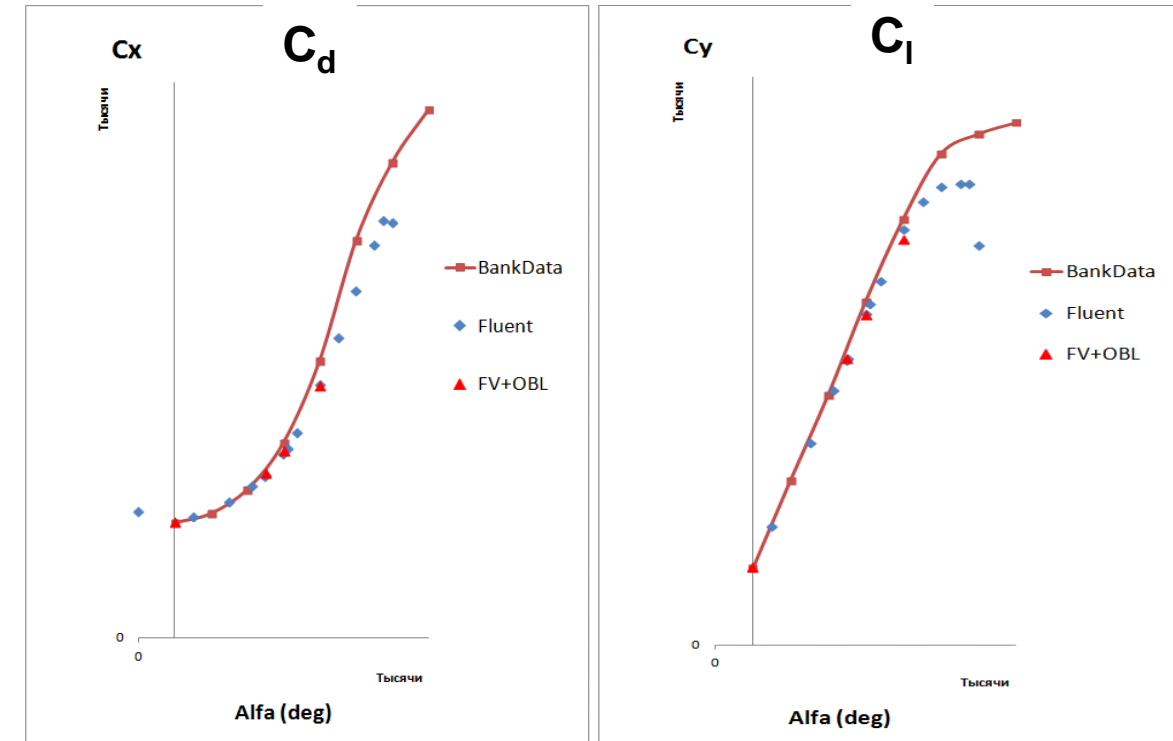
FlowVision conjugates 2 sectors of different angles!

Capturing boundary layers: overlapping boundary layer mesh (OBL)

Simulating airflow around Sukhoy SuperJect SSI-100 aircraft



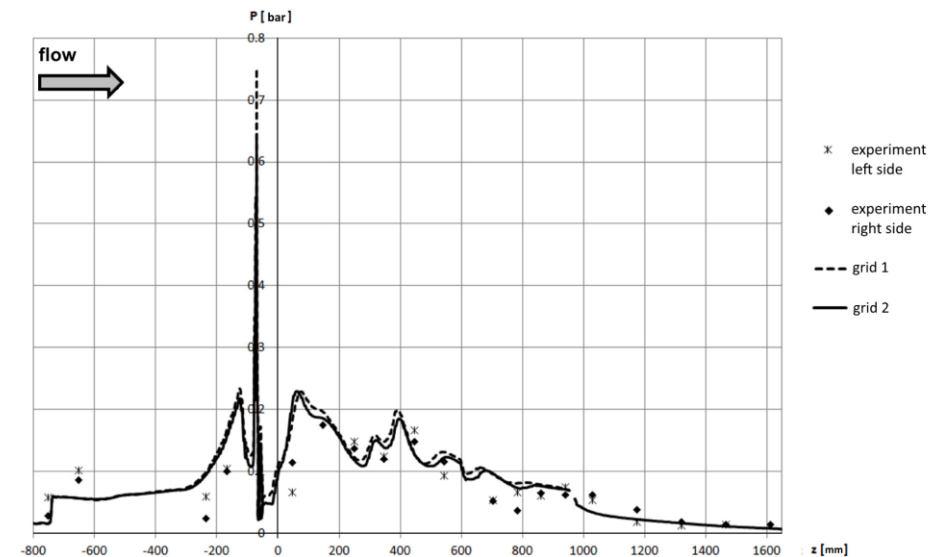
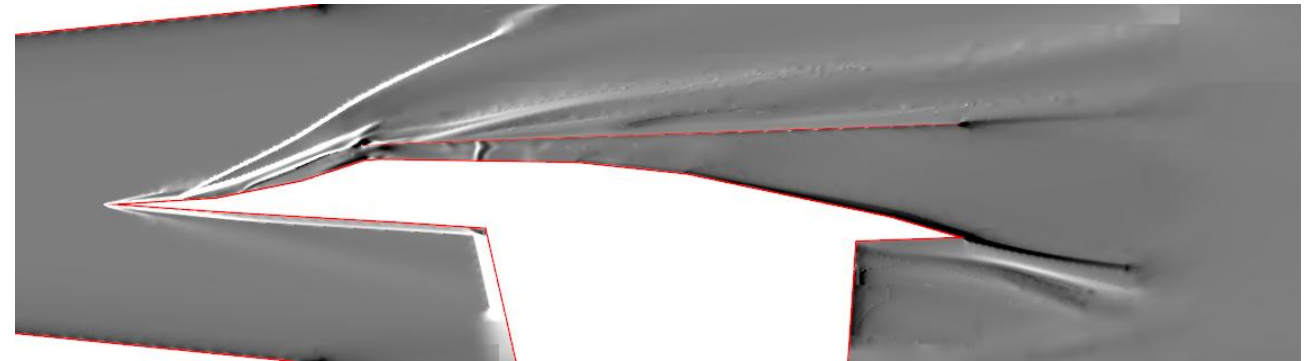
$Y^+ = 2-4$ when OBL used. Smallest cell near airplane wall has 10 microns!



C_d и C_l as function of attack angle

Simulating hypersonic flows

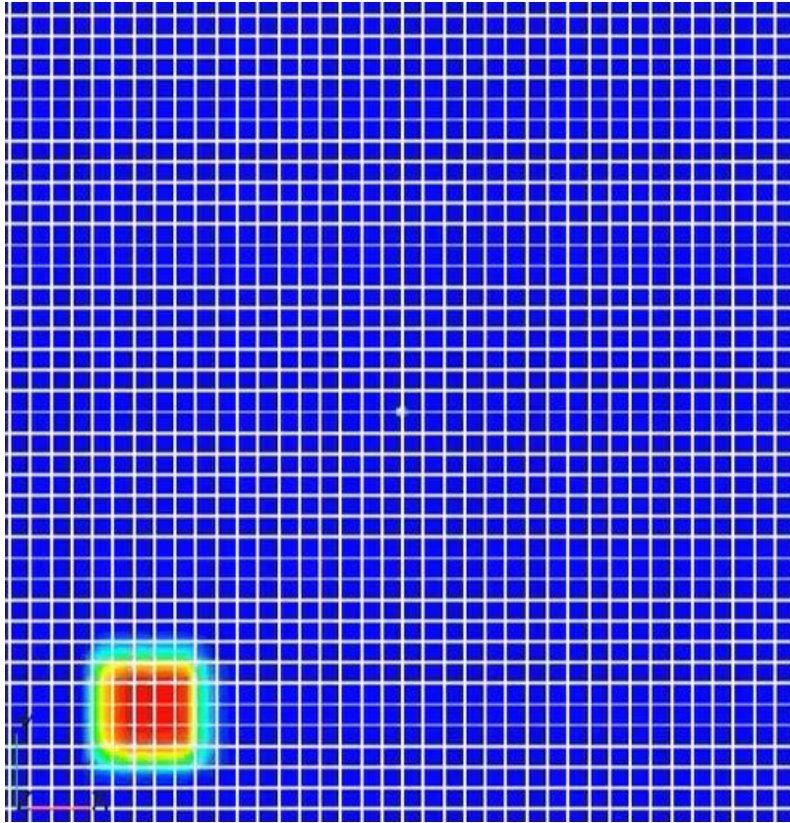
Simulating HEXAFLY model ONERA's hypersonic vehicle



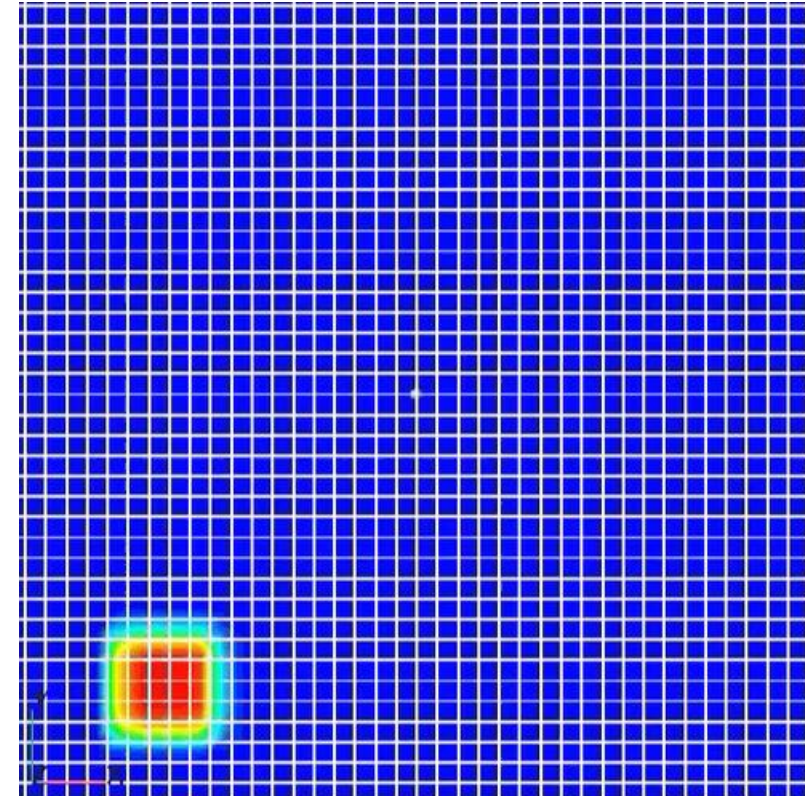
Future release FlowVision 3.10.01 (March 2017)

«Skew» scheme for convective transfer – more accurate simulation

Motion of the contamination spot along mesh with constant speed



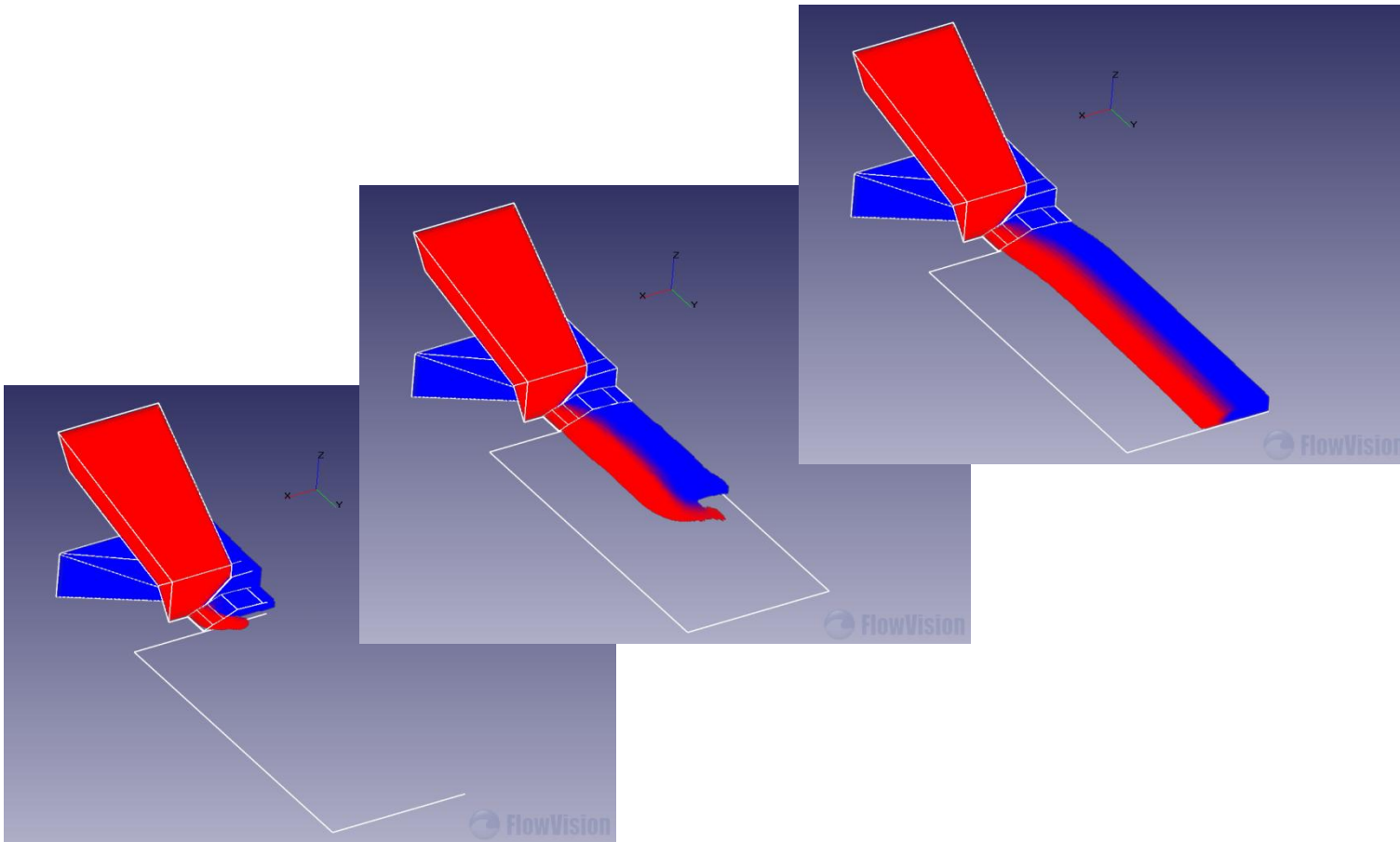
Non-skew scheme of 2-nd approximation



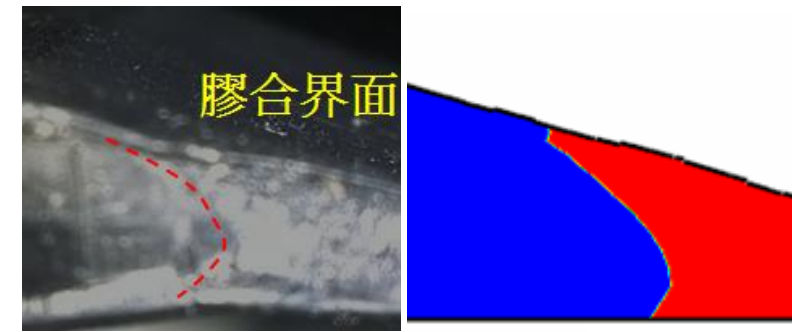
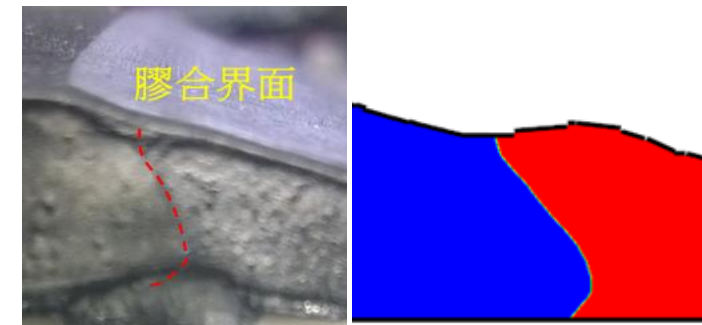
Skew scheme 2-nd approximation

Non-Newtonian fluids

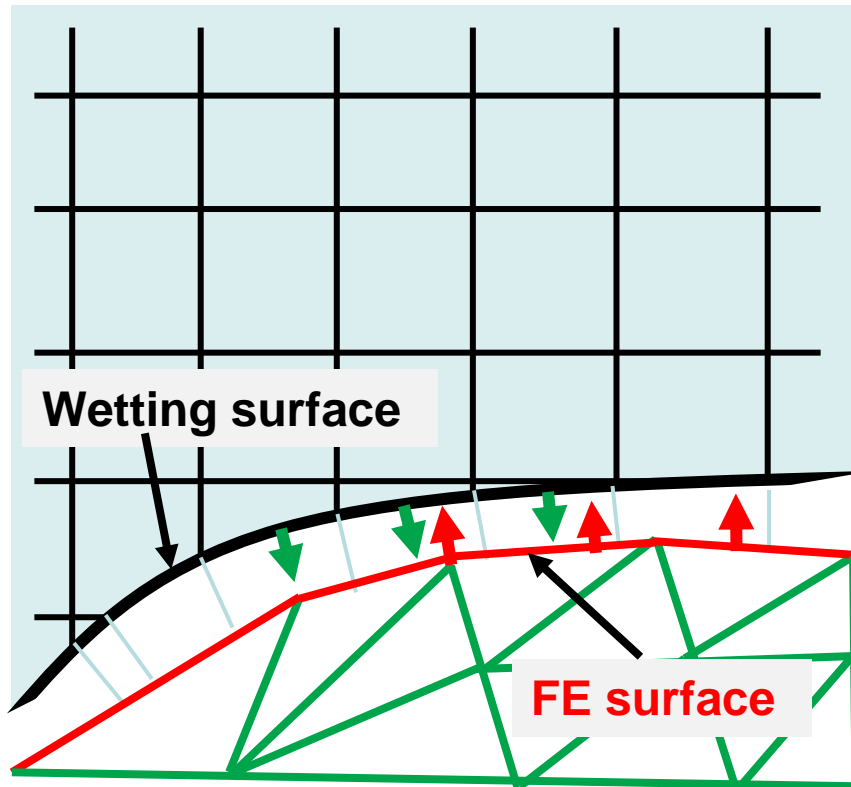
Two-component rubber extrusion



Experiment vs Simulation



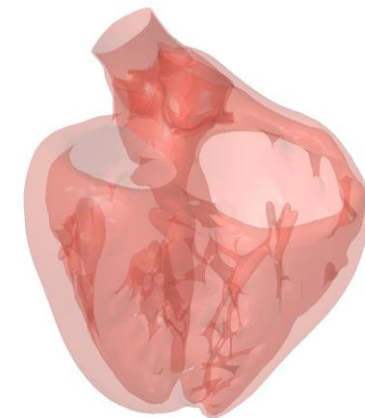
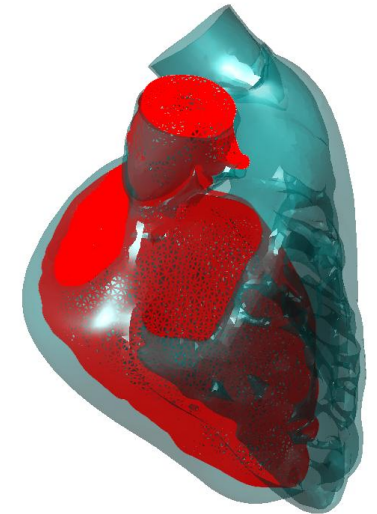
Coupling FlowVision-Abaqus through wetting surface



- ➔ Mapping forces and fluxes
- ➔ Mapping node speeds/temperature

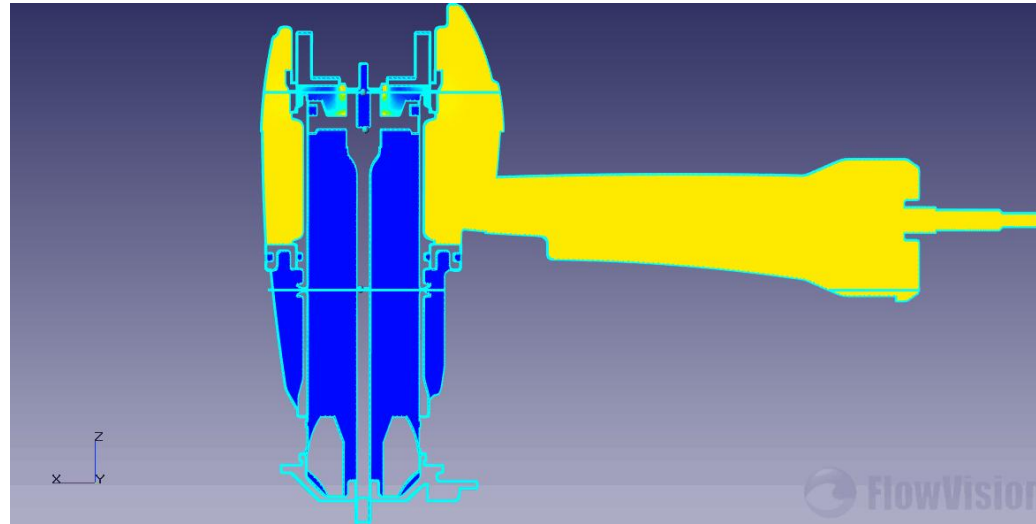
- CFD (partner) surface not equals to FE surface
- CFD and FE surfaces are mapped using FlowVision mapper:
 - Conservative for forces and fluxes
 - Smooth for node speeds and structure temperature

Heart simulation



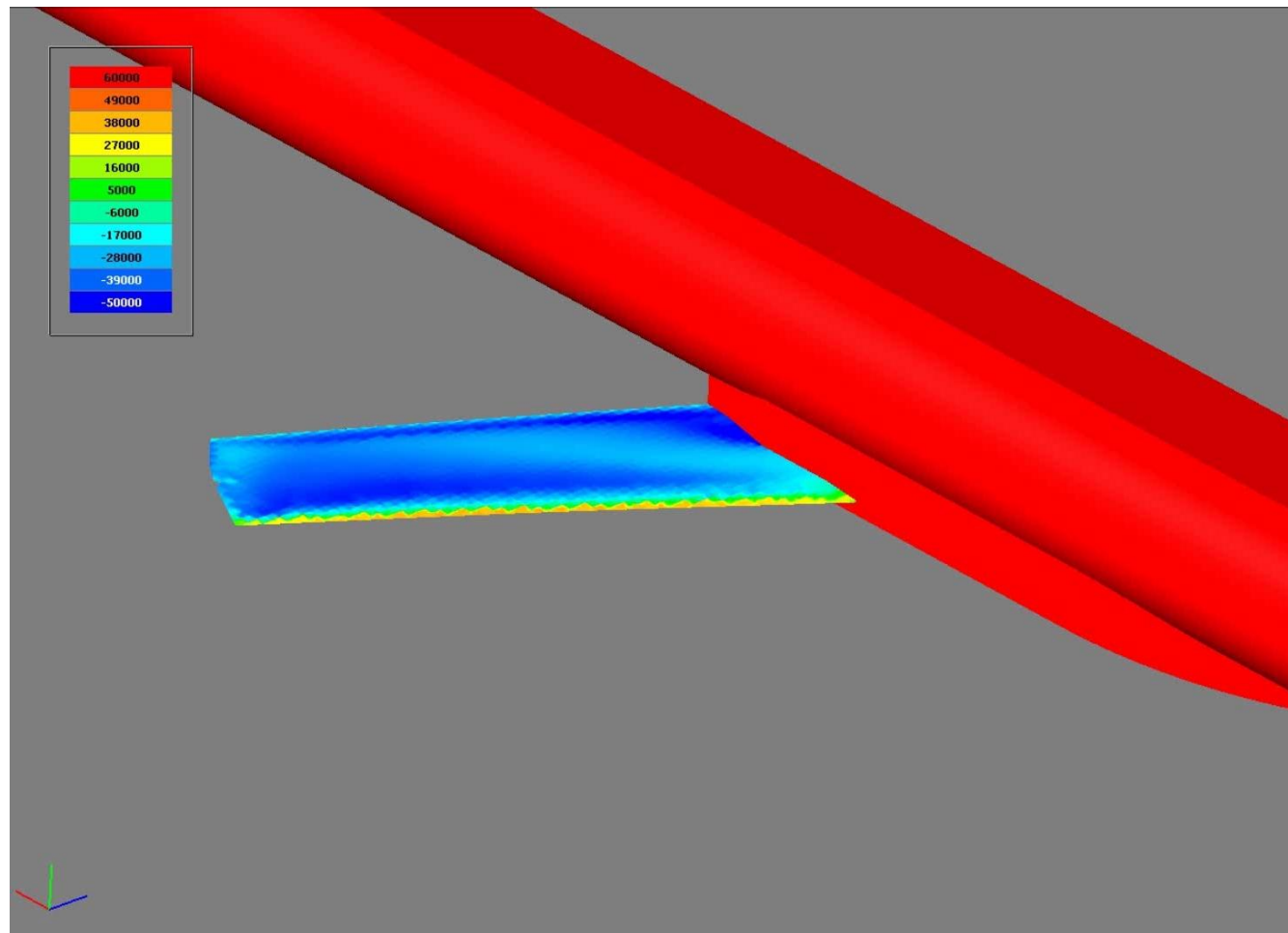
Implicit coupling FlowVision-Abaqus using Co-Simulation Engine

Pneumatic hammer

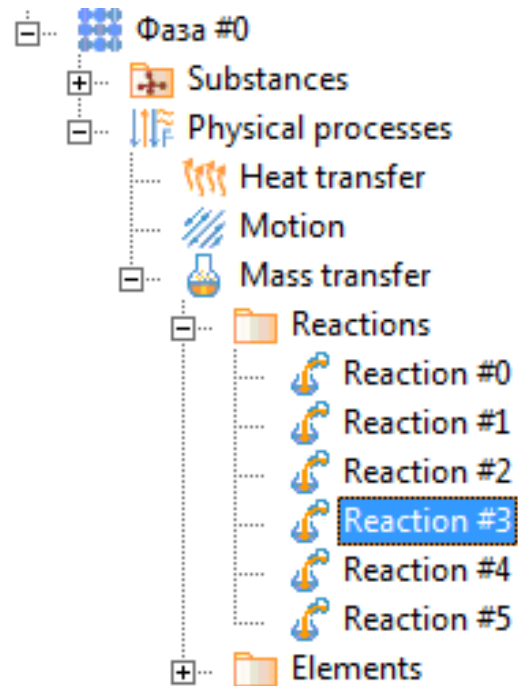


Coupling with NASTRAN OpenFSI

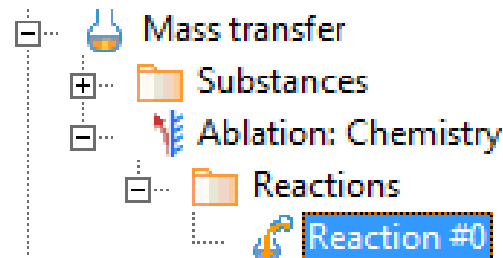
Simulating air wing flutter



New user interface for definition of chemical reactions and ablation (material loss)



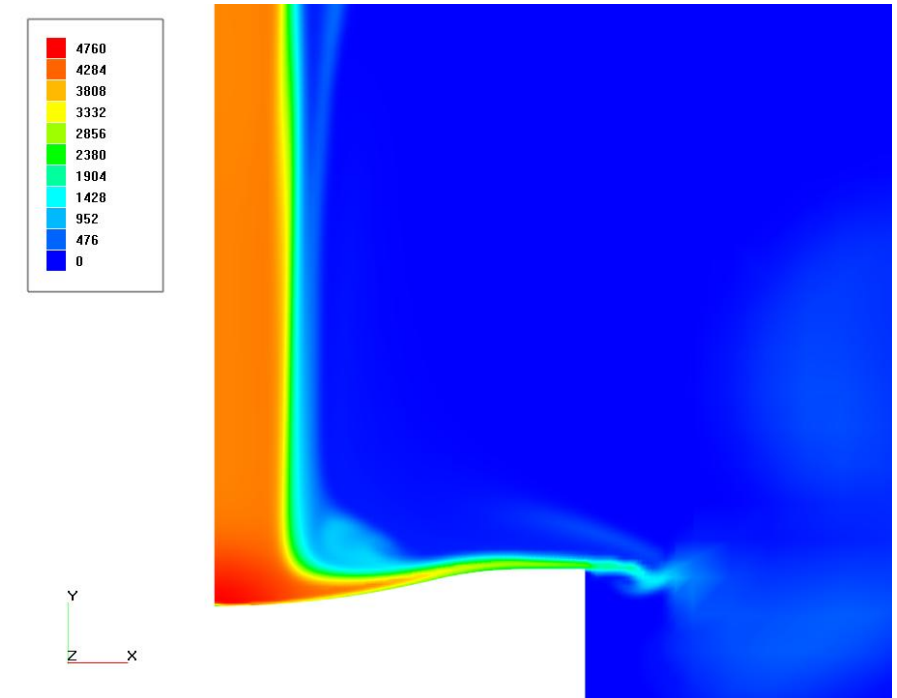
Specifying chemical reactions



Apply Rollback	
Name	Reaction #0
Af	150975
nf	0
Tf	22852
1st substance	O2
1st stoichiometric coeff.	1
2nd substance	CO2
2nd stoichiometric coeff.	1

Specifying ablation

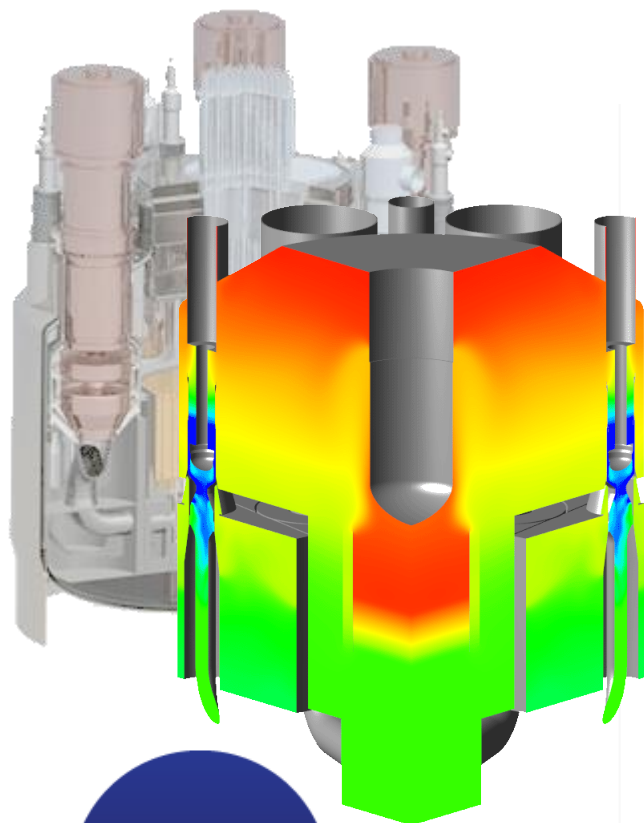
Graphite tablet ablation coursed by high-temperature gas jet



Temperature distribution

Развитие FlowVision в сотрудничестве с предприятиями России





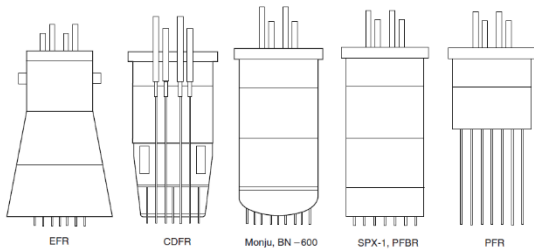
FlowVision

**FlowVision для решения
задач атомной энергетики**

Моделирование процессов тепломассопереноса на различных этапах проектирования с целью оптимизации параметров отдельных элементов РУ

Оптимизация конструкции ЦПК

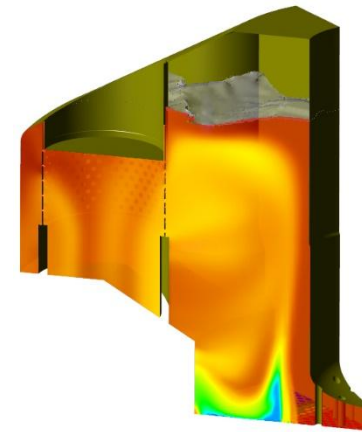
с целью повышения
эффективности перемешивания
разнотемпературных потоков теплоносителя
в ВСК реактора БН-1200



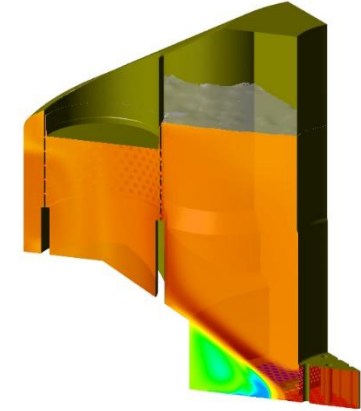
Исследование процесса перемешивания при выбранной форме ЦПК

Уточнение входных условий
Детализация геометрической модели камеры
Взаимодействие «теплоноситель-газ»

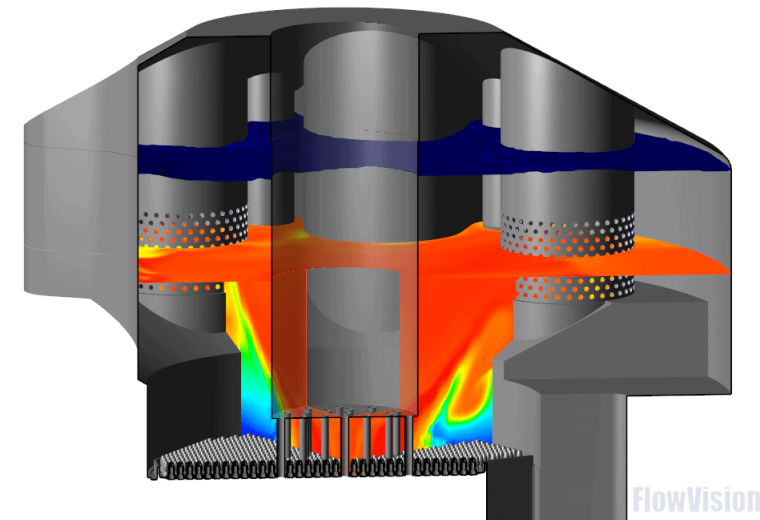
Расчёты для различных вариантов исполнения ЦПК



ЦПК со сферическим дном



ЦПК с плоским дном и «юбкой»



Распределение температуры

Создание методик решения задач с учётом интегральной компоновки оборудования РУ

Численное моделирование процесса
расхолаживания реактора БН
с целью анализа эффективности
пассивной системы аварийного отвода тепла

Разработка методики
с учётом возможных упрощений
без потери точности решения

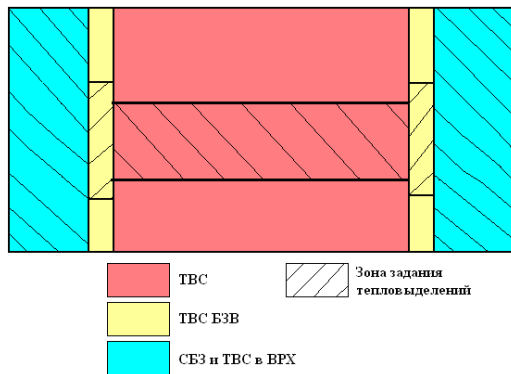
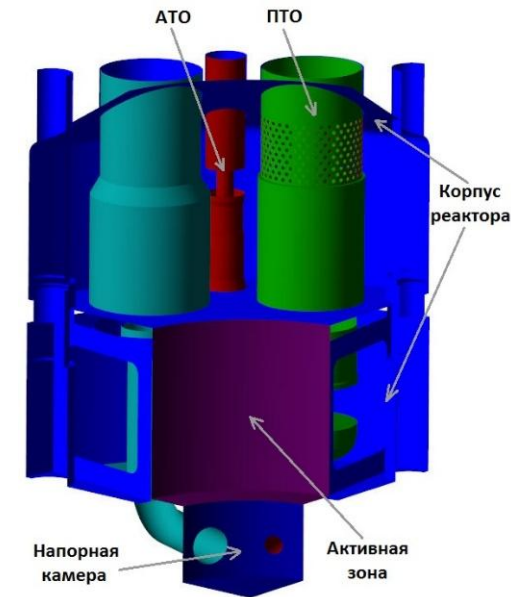
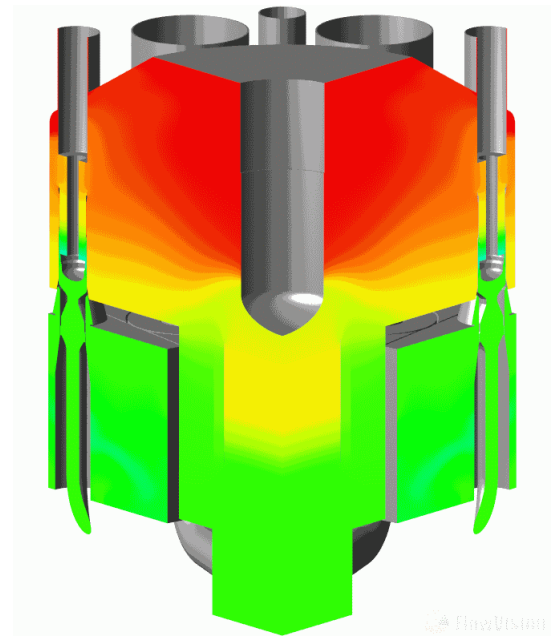


Схема активной зоны

- В активной зоне выделены три области, в которых задаются объемные источники тепла
- Отвод тепла в теплообменниках (ПТО, АТО) моделируется с помощью отрицательного источника мощности
- Для моделирования обратного клапана САОТ используется модуль «Подвижные тела»
- В режиме расхолаживания учитывается спад остаточных тепловыделений в активной зоне
- На входе задается изменение давления от времени (имитируется выбег ГЦН с номинальных оборотов)



Сектор геометрической модели
реактора БН-1200



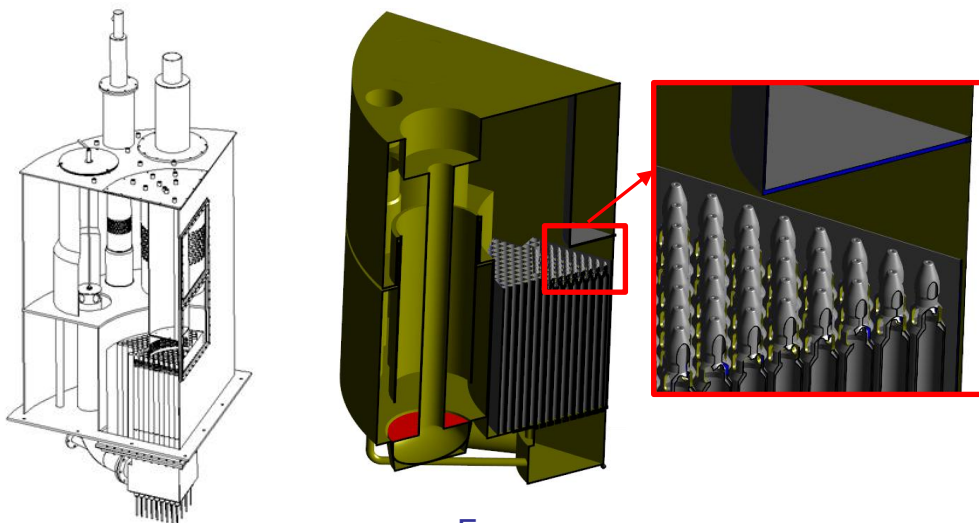
Распределение температуры

Создание методик решения задач с учётом интегральной компоновки оборудования РУ

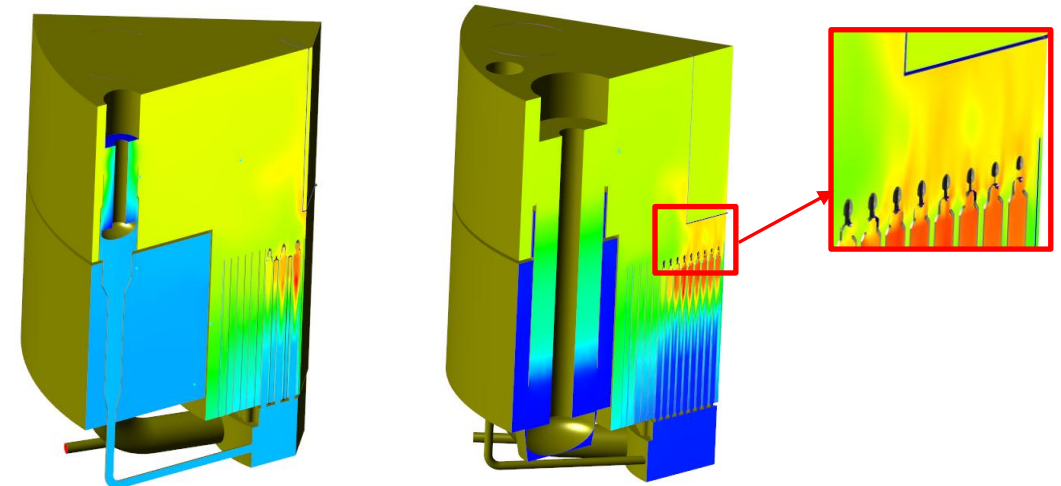
Численное моделирование процесса
расхолаживания реактора БН
с целью анализа эффективности
пассивной системы аварийного отвода тепла

Верификация методики

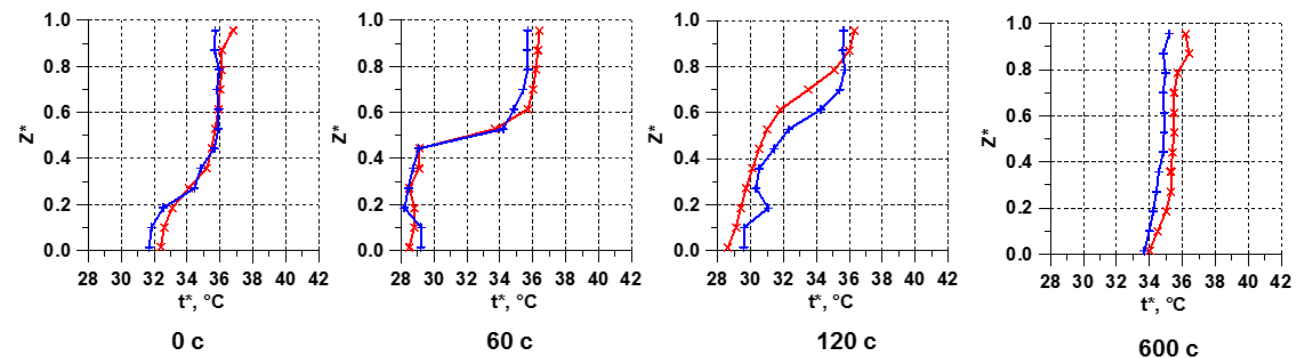
по данным, полученным в АО «ОКБМ Африкантов»
на экспериментальной модели реактора БН,
входящей в состав стенда «ТИСЕЙ»



Геометрическая модель



Распределение температуры теплоносителя в камере
модели реактора в режиме расхолаживания



Изменение относительной температуры воды в верхней камере

—+— эксперимент
—x— расчет

Создание новых специальных моделей и модулей

Разработка и реализация модели турбулентного переноса тепла, учитывающей специфику натриевого теплоносителя

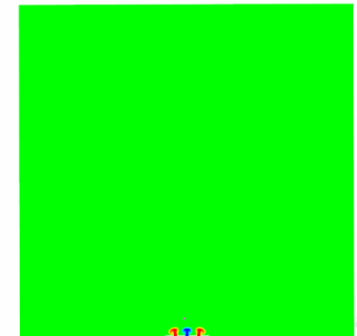
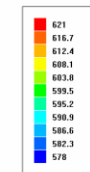
Обзор и анализ опубликованных моделей турбулентного теплопереноса

Выбор наиболее надёжных и легко реализуемых моделей

Создание на их основе новой модели LMS (Liquid Metal Sodium), позволяющей получить точный результат в разумные сроки

Верификация модели LMS

- Численное моделирование теплогидравлических процессов на стенде TEFLU
- Перемешивание разнотемпературных потоков теплоносителя в ВСК реактора БН-600
- Свободная конвекция натрия в цилиндрической полости
- Перемешивание трёх разнотемпературных струй натрия в серии экспериментов Кимура и др.
- Течение теплоносителя в верхней камере реактора MONJU



Создание новых специальных моделей и модулей

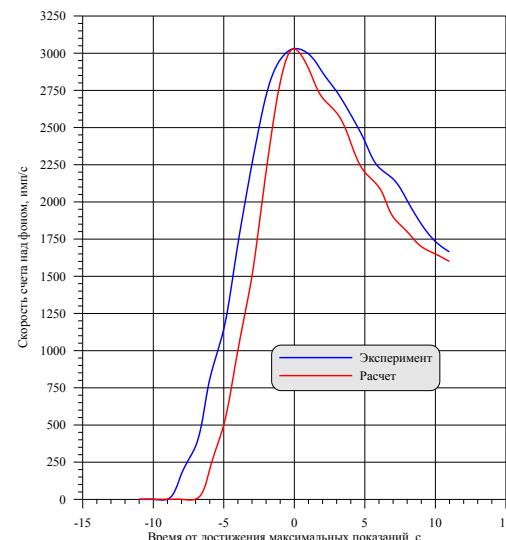
Моделирование переноса теплоносителем суперпозиции нескольких групп радиоактивных изотопов в первом контуре реактора с учетом времени жизни каждой группы



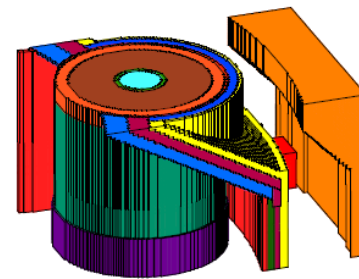
Разработка модуля
импорта расчётной сетки
из программы TORT в FlowVision
и экспорта результатов расчёта
концентрации изотопов
из FlowVision в TORT
для последующего определения
уровней нейтронного излучения

Тестовые расчёты
с модулем FV-BN

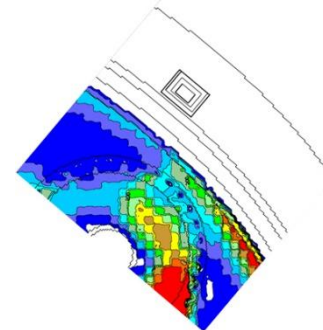
Сравнение экспериментальных
и расчетных показаний ССКГО



TORT

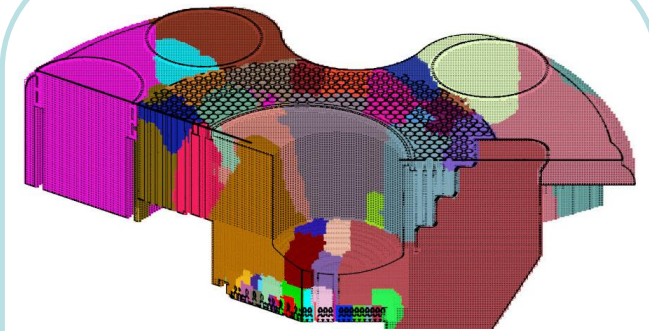


Модель

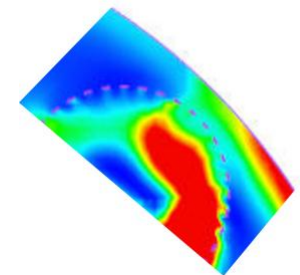


Распределение
концентрации изотопов
(с учётом объёмной доли
теплоносителя)

FlowVision

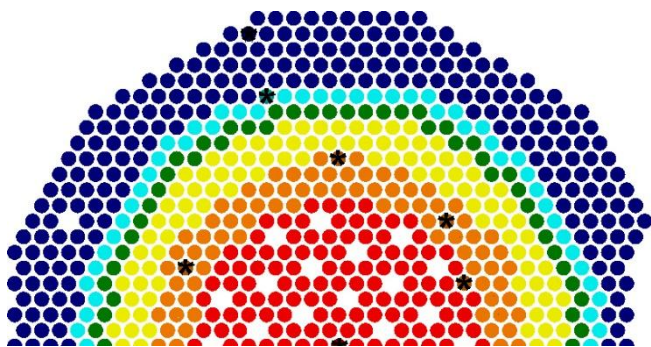


Модель



Распределение
концентрации изотопов

Оптимизация численных алгоритмов



✱ Негерметичные ТВС

Задача локализации негерметичной тепловыделяющей сборки по функции отклика показаний системы контроля герметичности оболочек ТВЭЛ

10-15 независимых расчётов для различных негерметичных сборок

Оптимизация FV-BN с целью ускорения нестационарных расчётов

Анализ работы солвера в выполненных ранее расчётах
и определение алгоритмов ускорения



Реализация методики сохранения подпространства

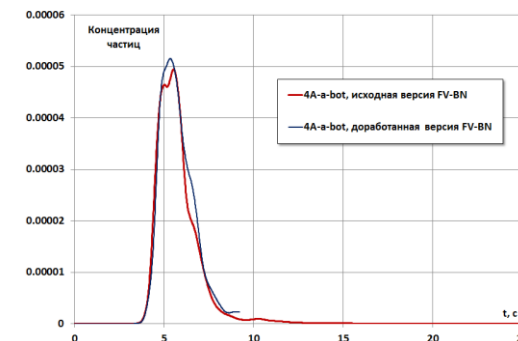
Реализация возможности расчета уравнений массопереноса со своим шагом по времени

Доработка модели массопереноса в части добавления полуявной схемы расчета

Оптимизация процесса построения реконструкции решения при расчете конвективного переноса



Ускорение до 2,8 раз



Использование FlowVision при разработке перспективного транспортного корабля нового поколения



Перспективный транспортный корабль нового



Основные черты корабля

- Оптимизация под разные миссии – орбитальная работа, дальние экспедиции
- большая грузоподъемность
- большой экипаж и улучшение условий его работы
- агрегатная многозадачность, при условии соблюдения режима мягкой посадки

Основные черты проекта

- большое количество расчетов
- эксперимент, как средство аудита математического моделирования

Расчетные случаи

Старт/Разгон

- взаимодействие разделяемых элементов ступеней на траектории

Аварийная ситуация

- срабатывание системы аварийного спасения (САС)

Посадка

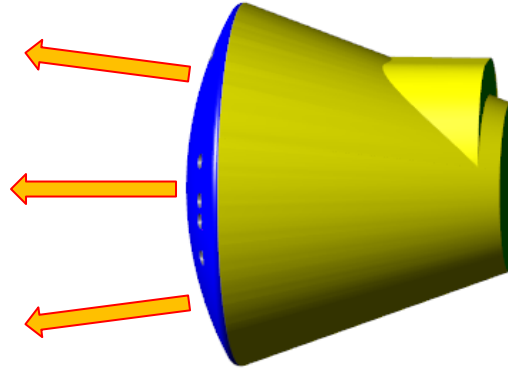
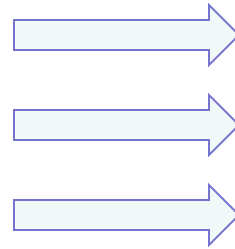
- взаимодействие св/зв струи ДУ с набегающим до/зв потоком
- воздействие св/зв струи ДУ на грунт и воду
- отделение крышки отсека контейнера основного парашюта
- посадка с отказами ДУ

1 ЭТАП ТОРМОЖЕНИЕ

Рабочее вещество

Нужно задать:

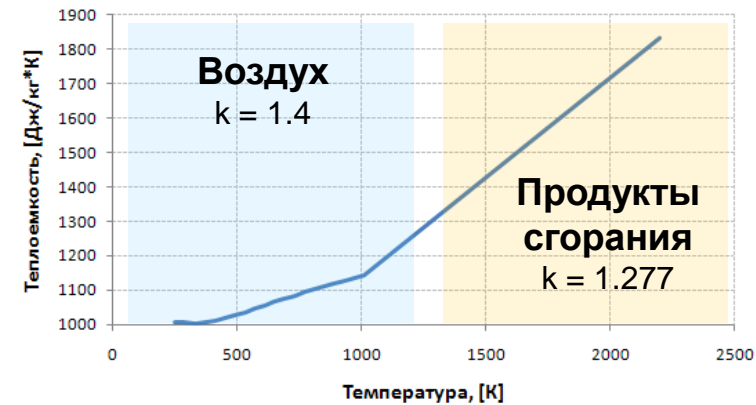
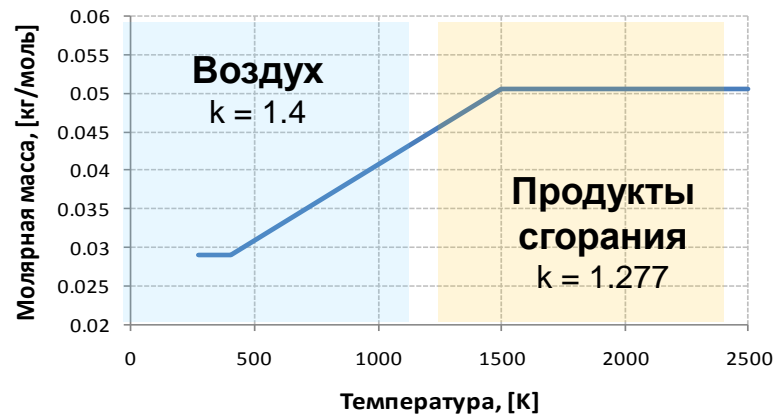
Воздух
 $k = 1.4$



Продукты
сгорания
 $k = 1.277$

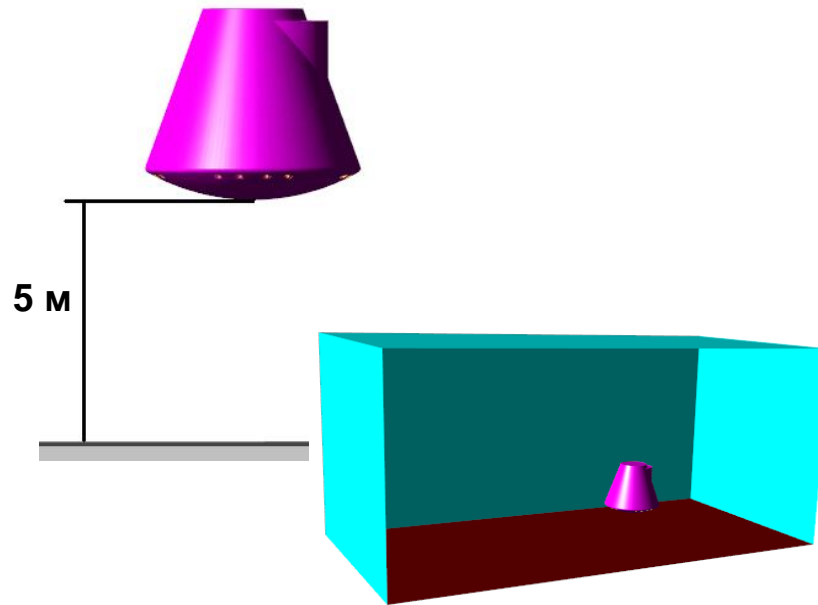
FlowVision 3.07 позволял задать только 1 вещество!

Принятое решение:

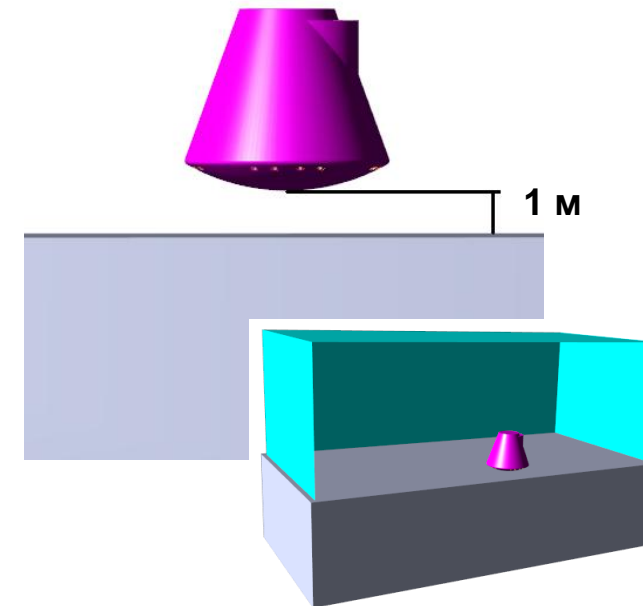


Режим посадки, упрощение постановки

Расстояние до земли – 5 м



Расстояние до земли – 1 м



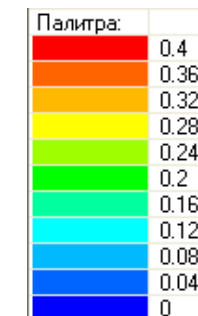
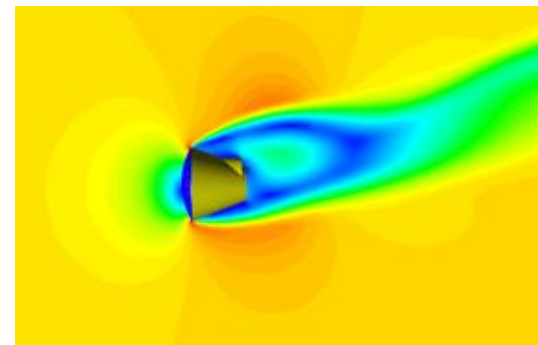
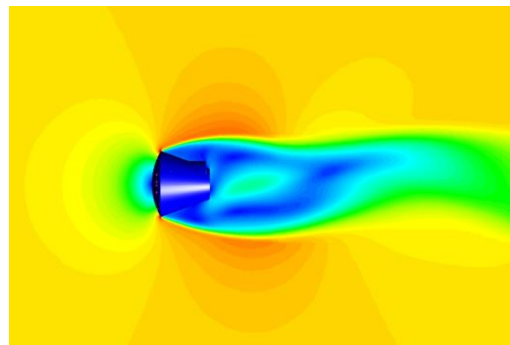
Метод: введение в подобласть подвижного тела требуемой толщины

Преимущества: уменьшение времени создания и редактирования варианта
сохранение взаимного расположения сетки и объектов
сохранение сцены

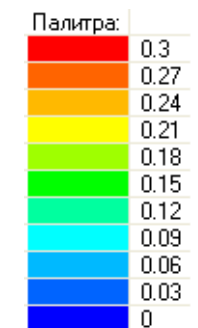
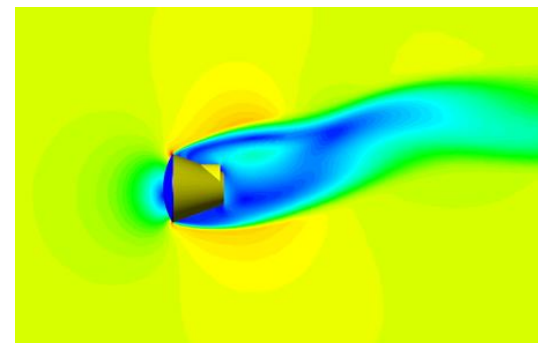
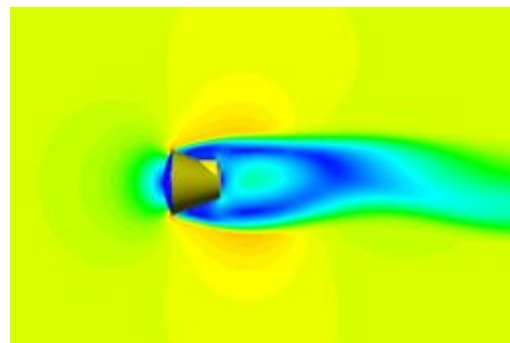
Режим торможения: ВА с выключенной ДУ

Распределение числа Маха в области вокруг ВА

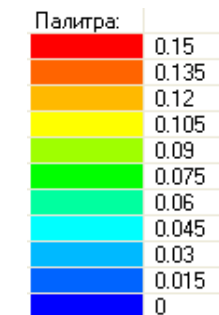
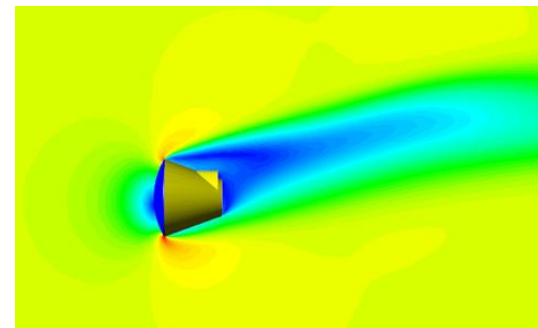
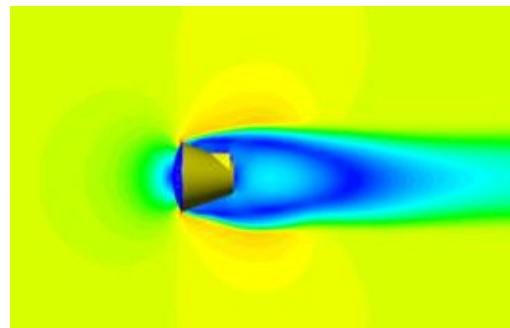
$V = 0.3 \text{ M}$
 $H = 1000 \text{ м}$



$V = 0.2 \text{ M}$
 $H = 500 \text{ м}$

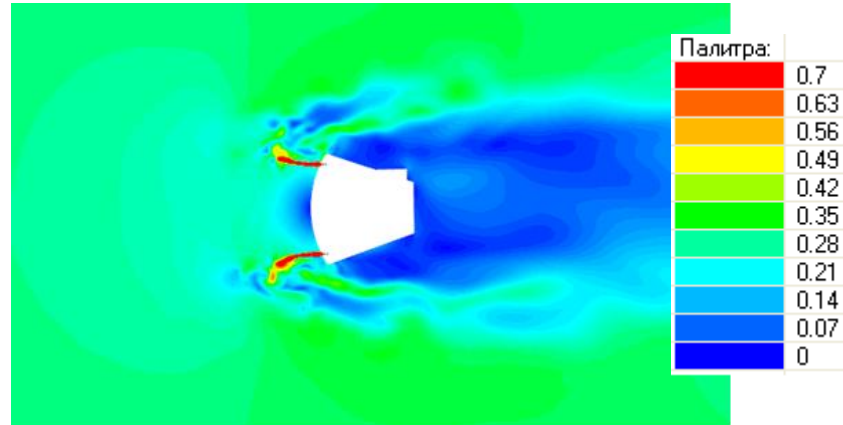


$V = 0.1 \text{ M}$
 $H = 50 \text{ м}$

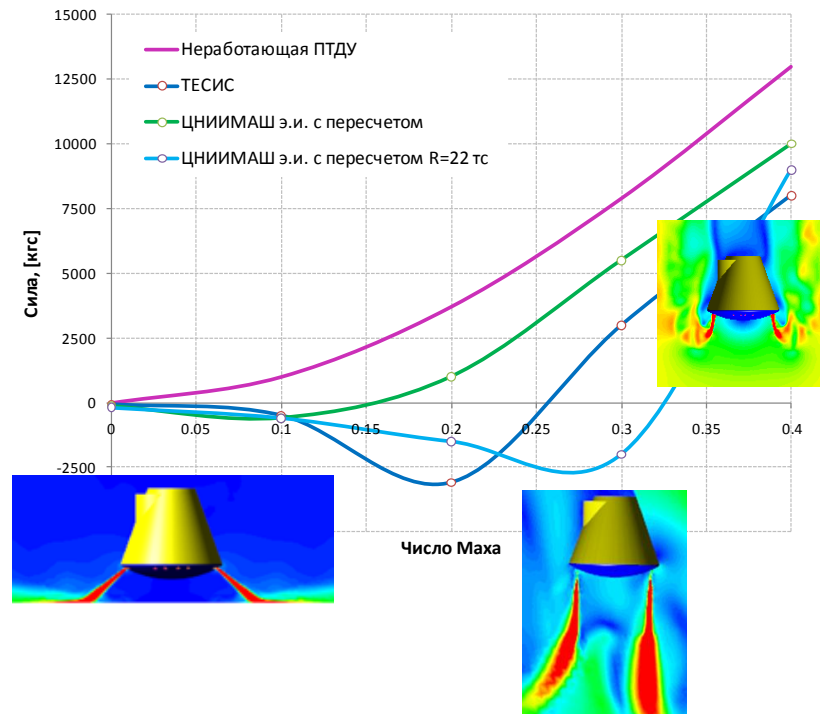
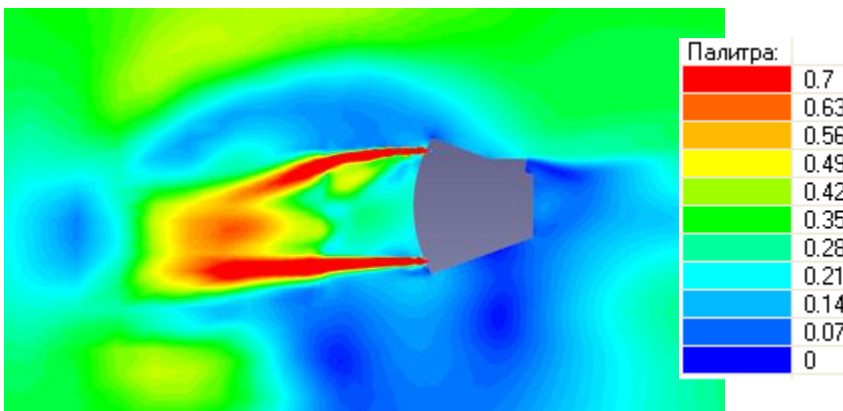


Различие в поведении процесса на разных режимах

0.3 M



0.2 M

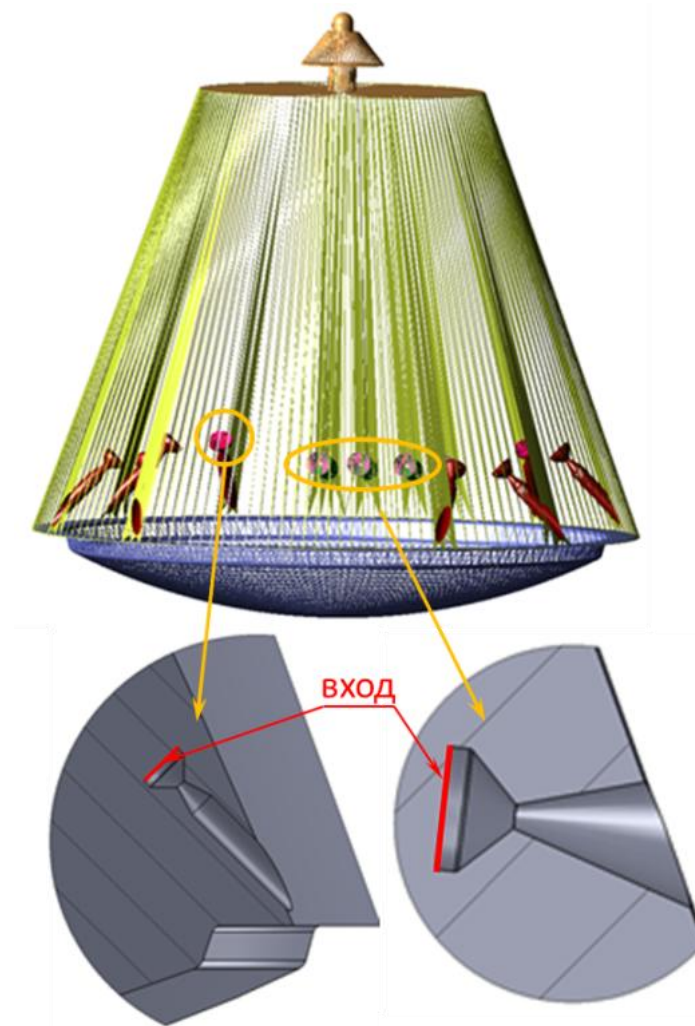
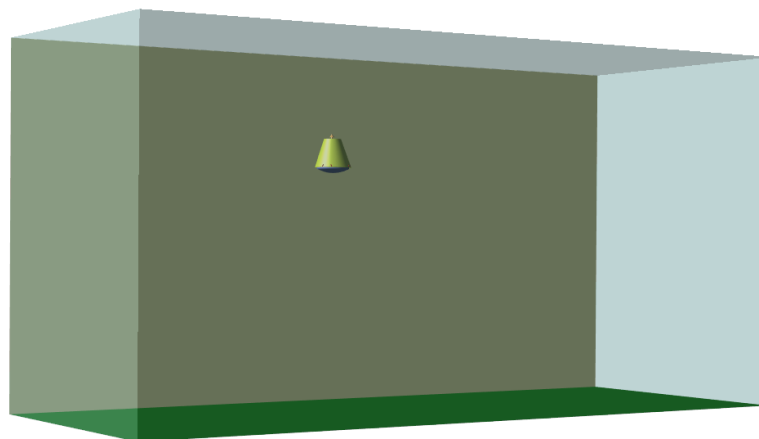
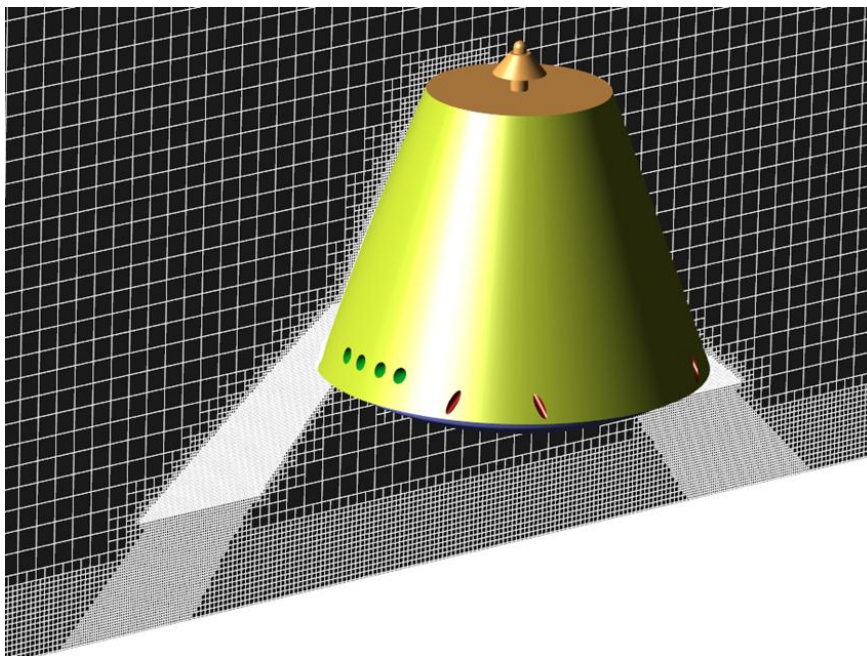


Изменение знака действующей силы на разных режимах

2 ЭТАП ПРИЗЕМЛЕНИЕ

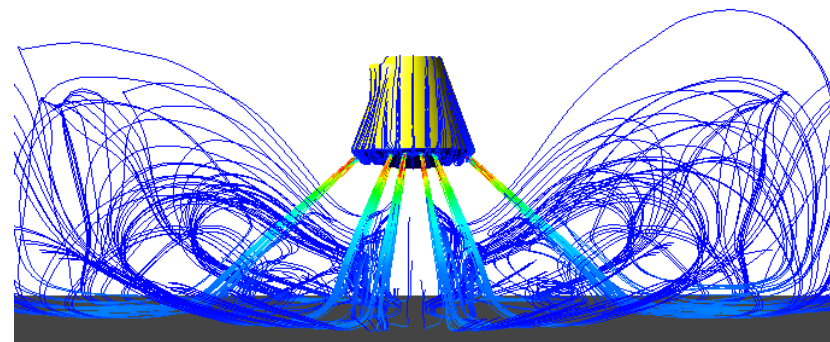
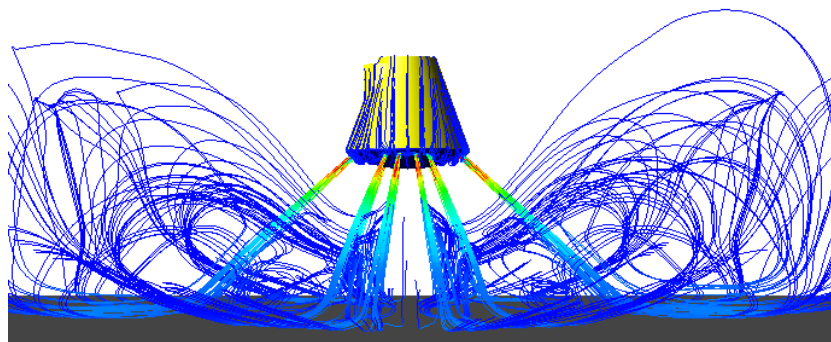
Оценка влияния струй ДУ на грунт

Расчетная область

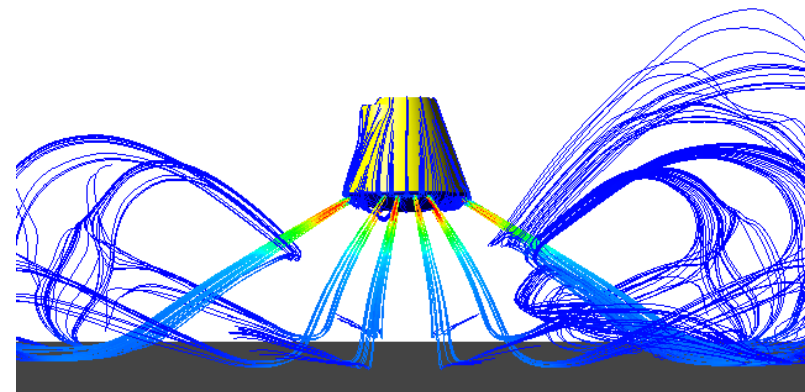
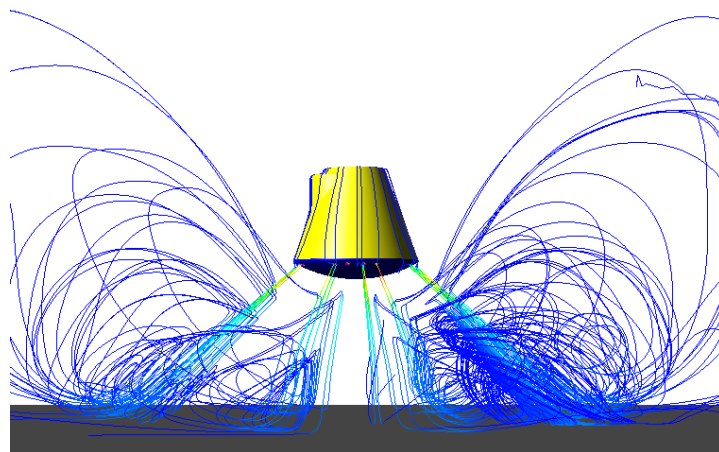


Результаты

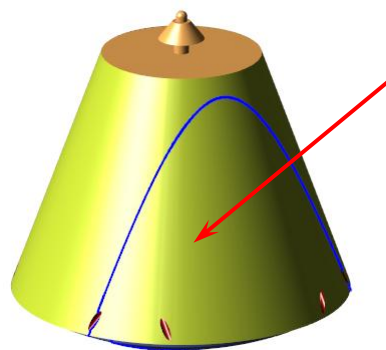
Продукты сгорания, $k = 1.277$



Воздух, $k = 1.4$

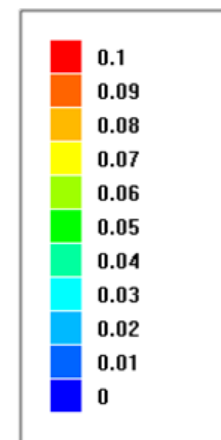
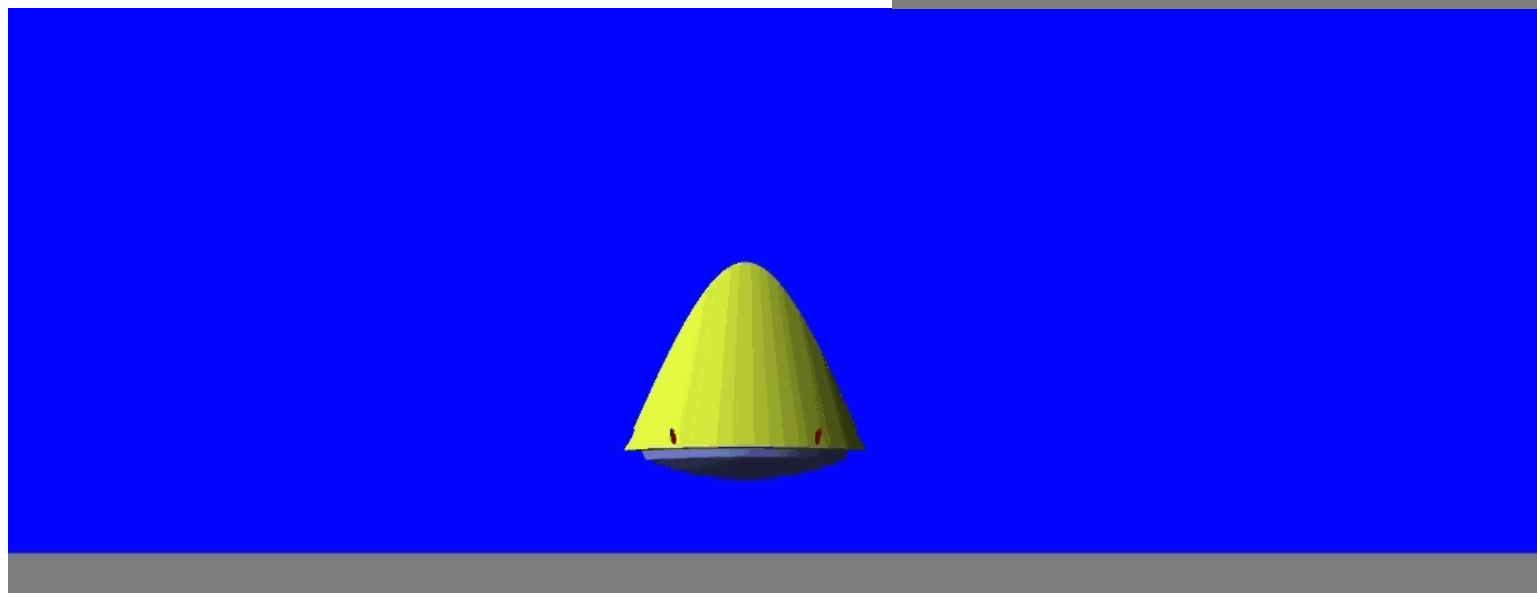
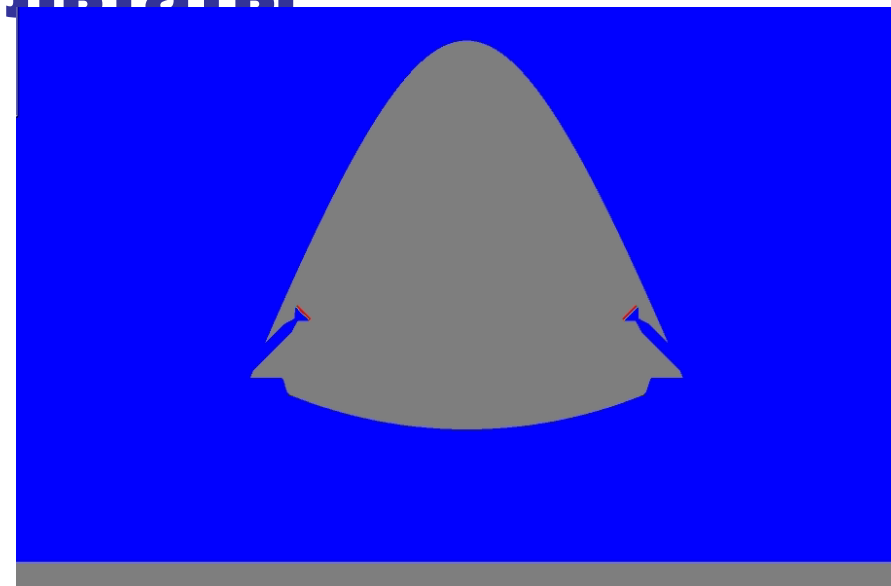


Результаты



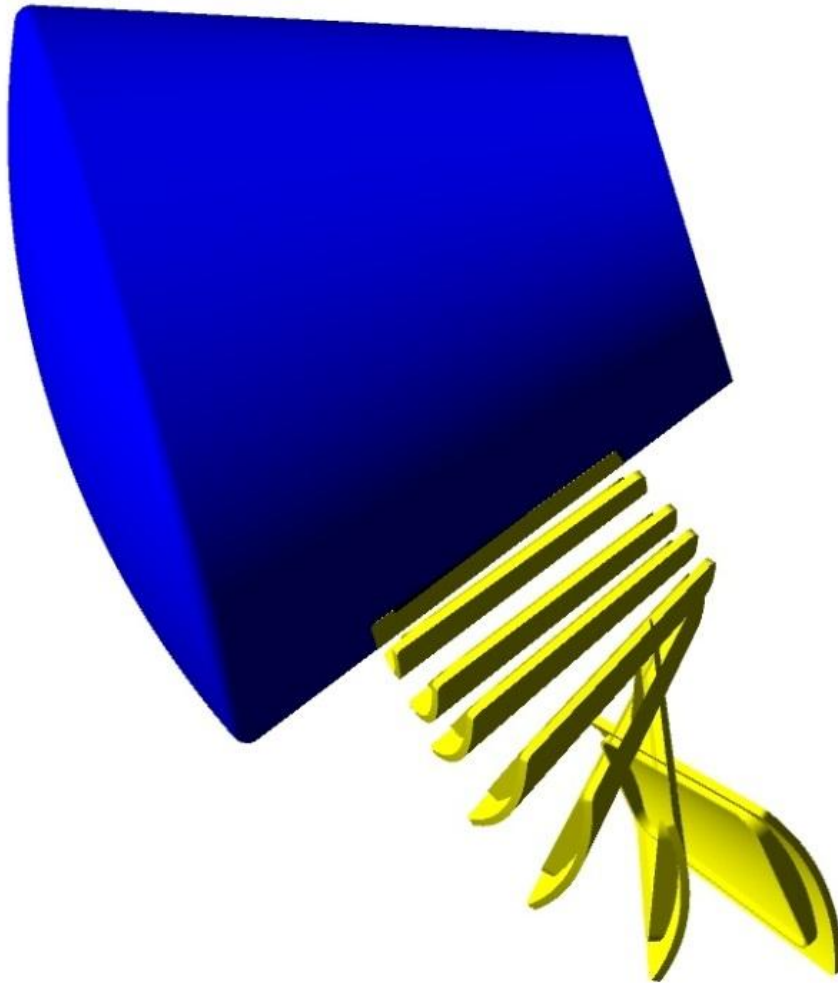
плоскость визуализации
проходит через ось
вертикальных сопел

Высота $h = 1$ м



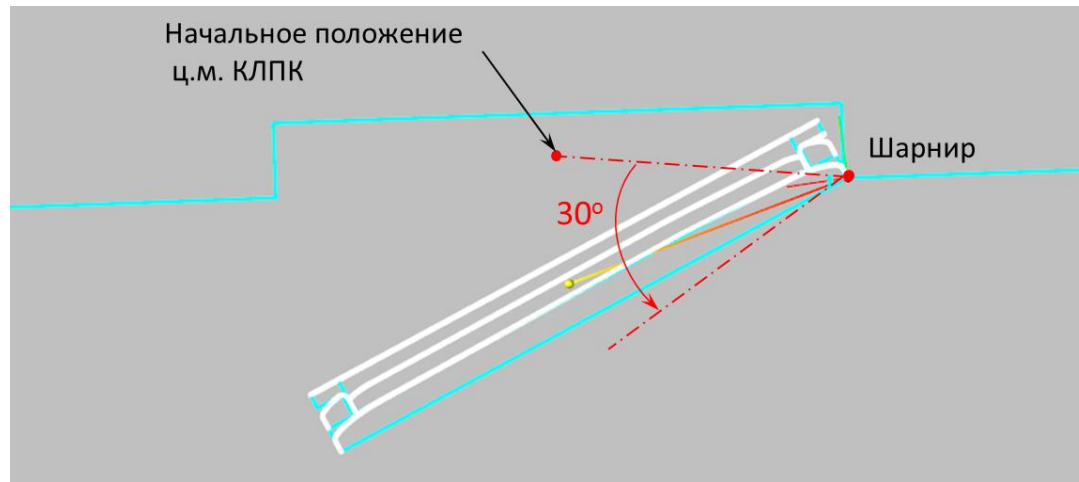
3 ЭТАП ОТСТРЕЛ КРЫШКИ ОТСЕКА ТОРМОЗНОГО ПАРАШЮТА

Отделение крышки контейнера основного парашюта

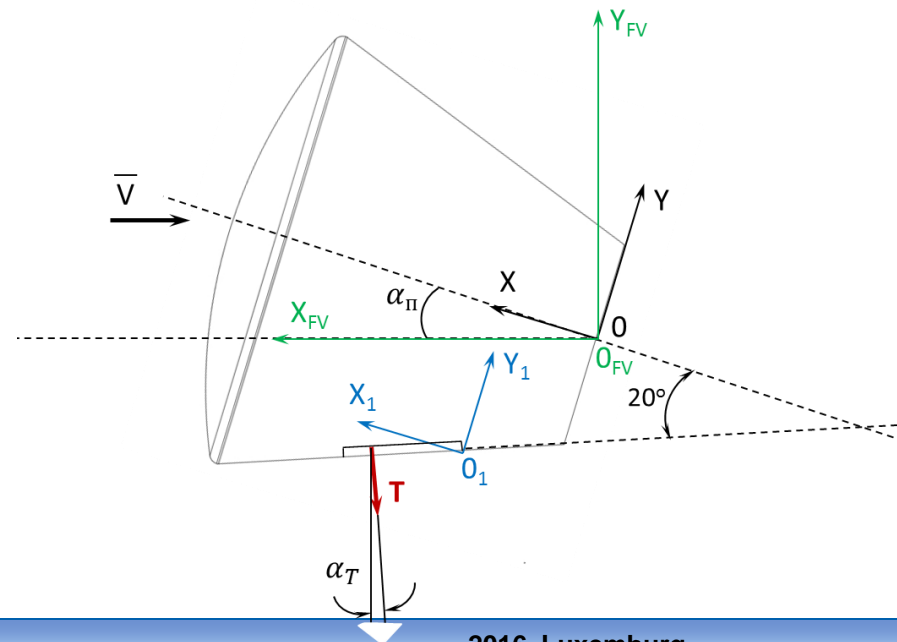


Смоделировать сброс крышки отсека тормозного парашюта с возвращаемого модуля при различных положениях модуля в пространстве

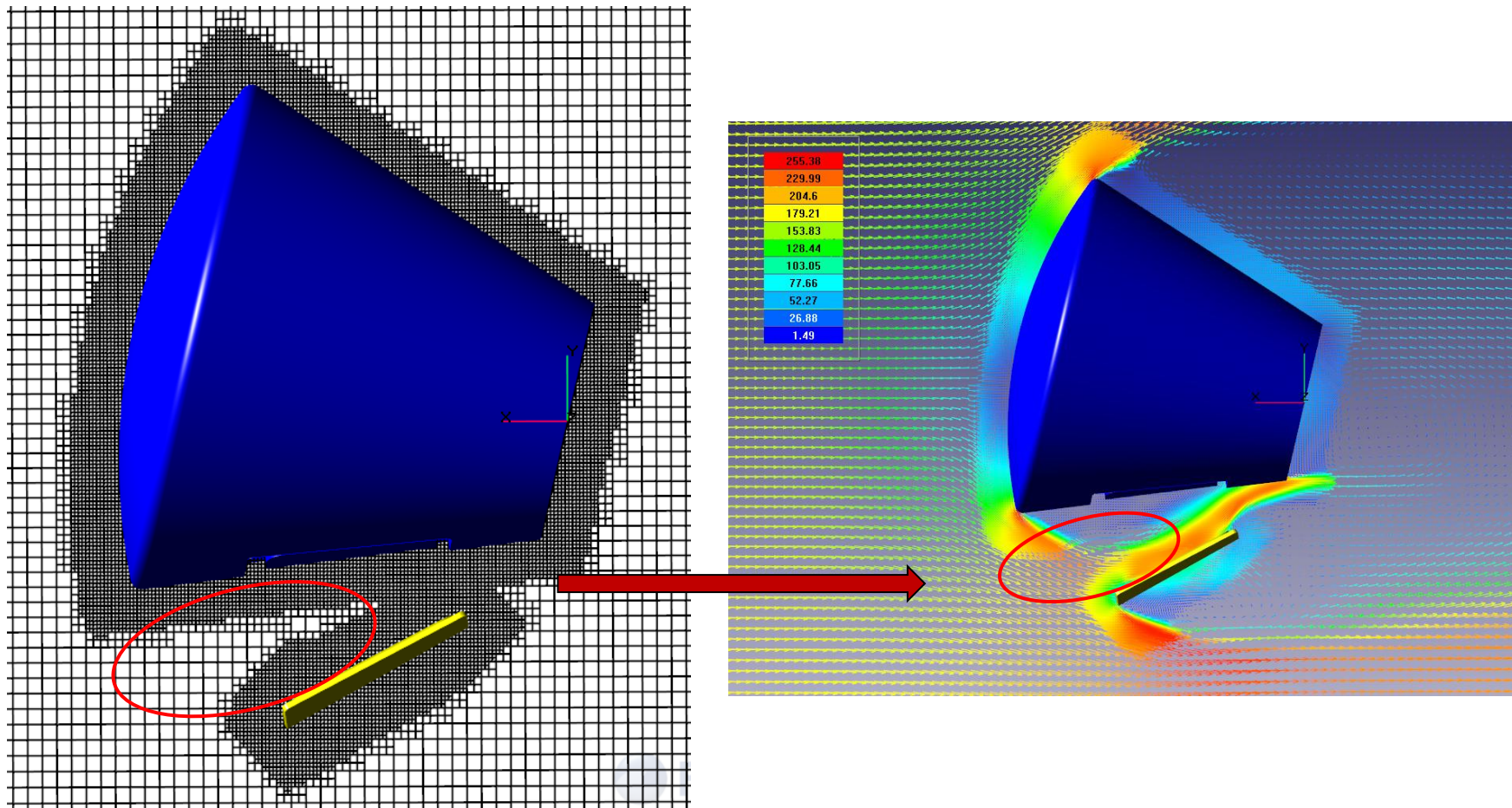
Отделение крышки контейнера основного парашюта



Смоделировать сброс крышки отсека тормозного парашюта с возвращаемого модуля при различных положениях модуля в пространстве с учетом шарнирной связи петли навески



Исследование сходимости по сетке



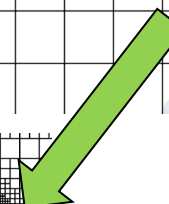
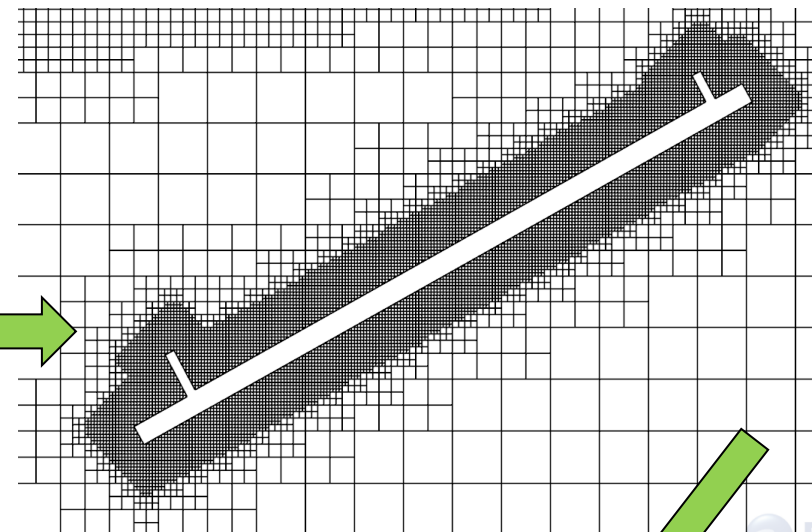
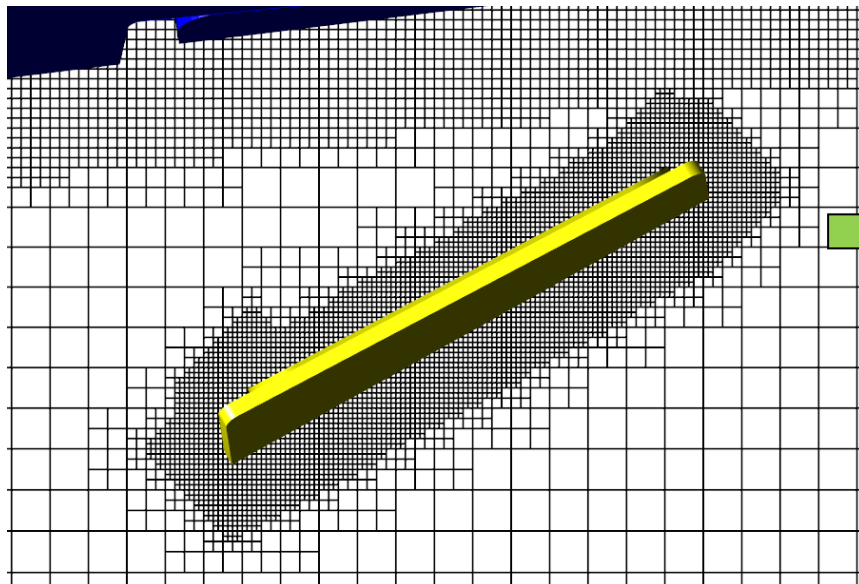
Вариант 1: $N = 2\,750\,000$

- Неоднородная сетка между телами

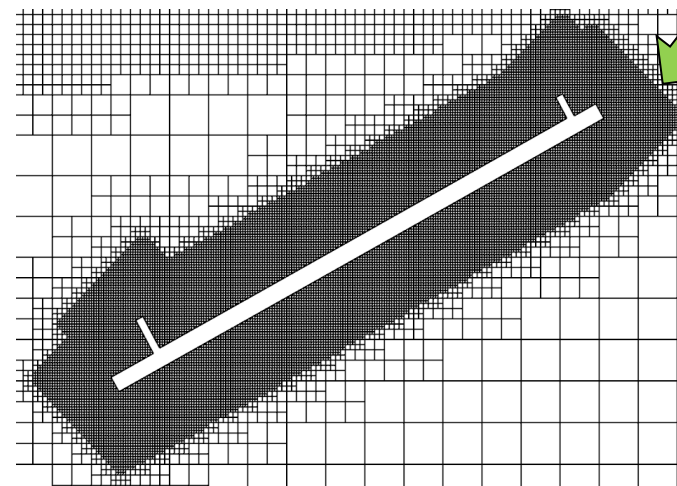
Исследование сходимости по сетке

Вариант 3: $N = 3\,000\,000$

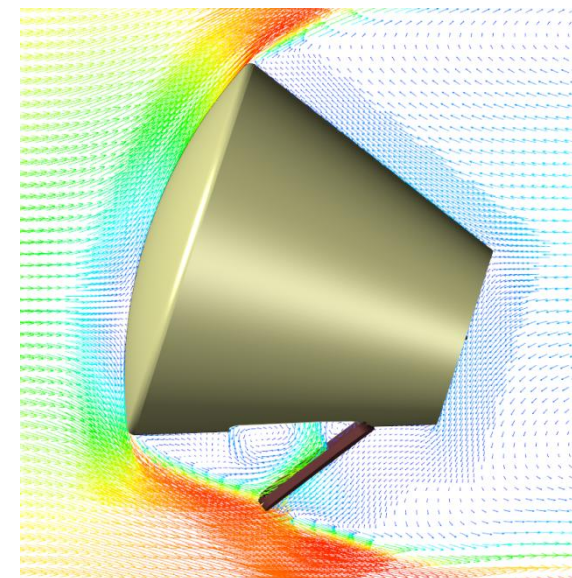
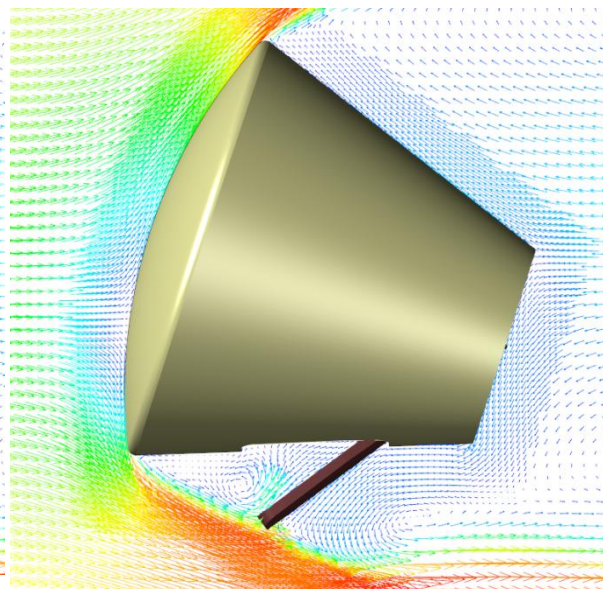
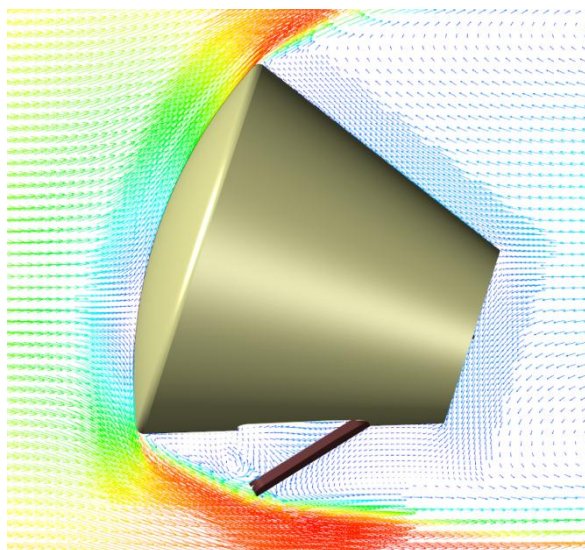
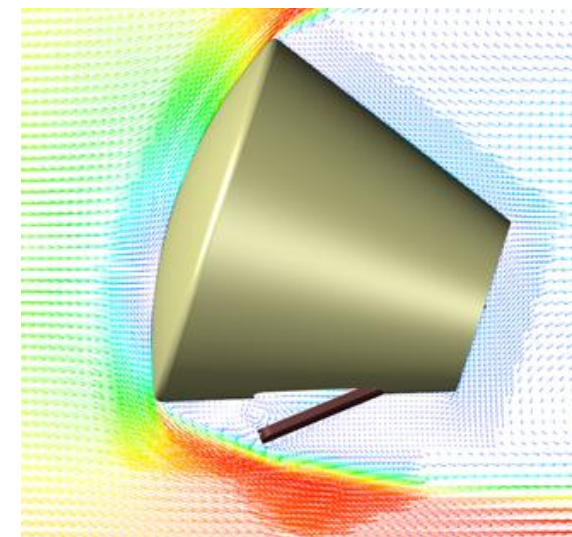
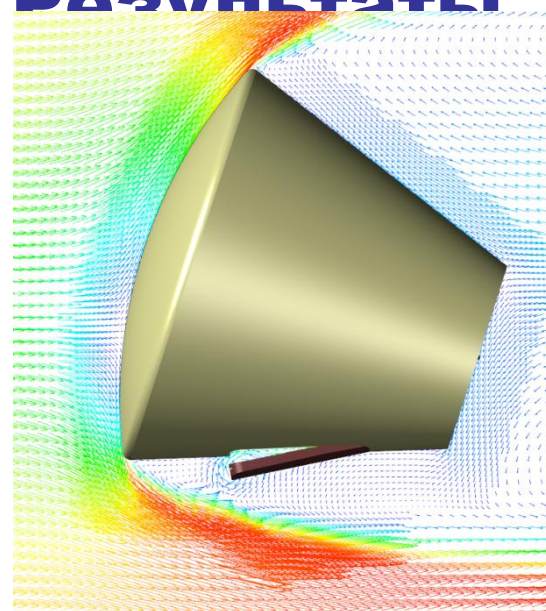
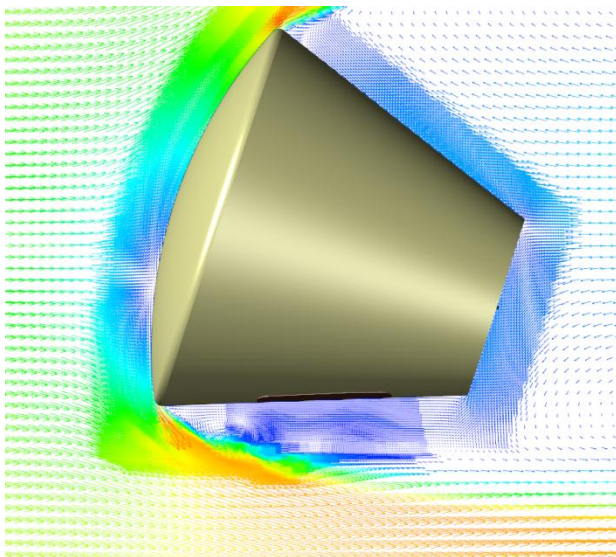
Вариант 4: $N = 4\,100\,000$



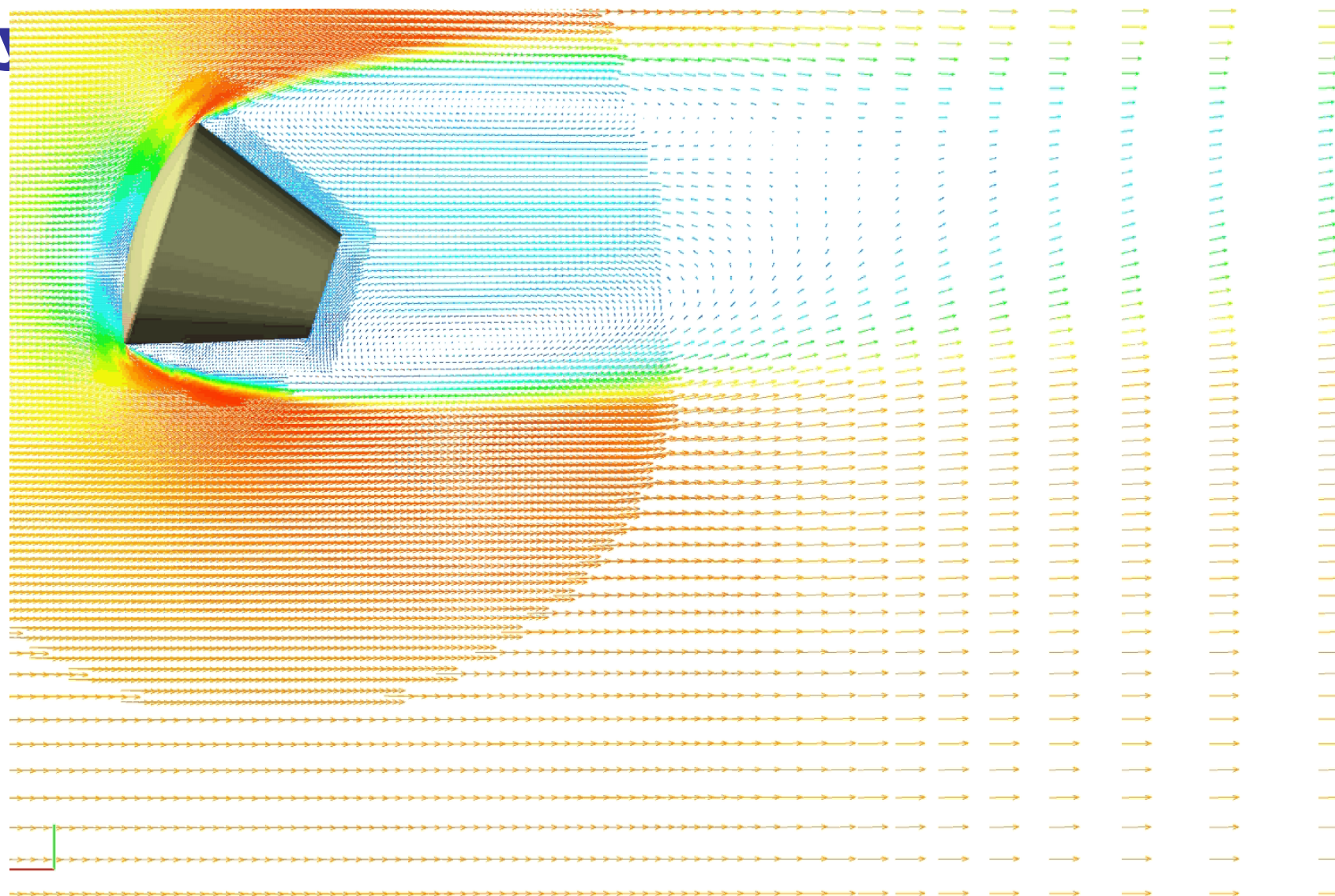
Вариант 5: $N = 5\,700\,000$



Результаты

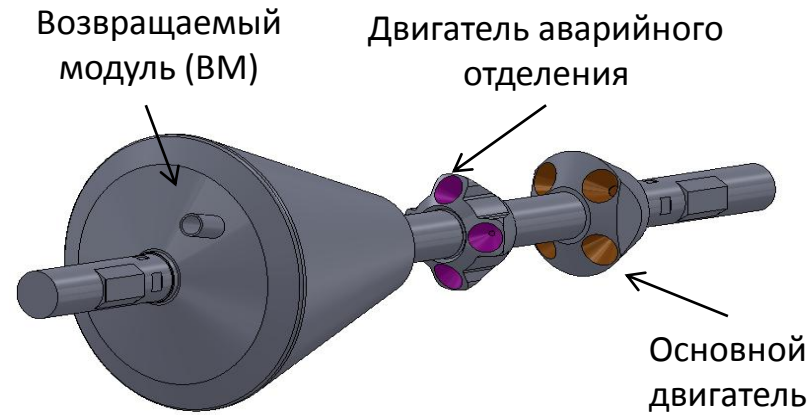


Отстрел крышки люка парашютного контейнера с

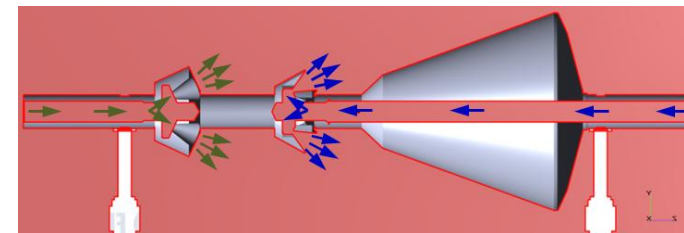


4 ЭТАП СРАБАТЫВАНИЕ СИСТЕМЫ АВАРИЙНОГО СПАСЕНИЯ

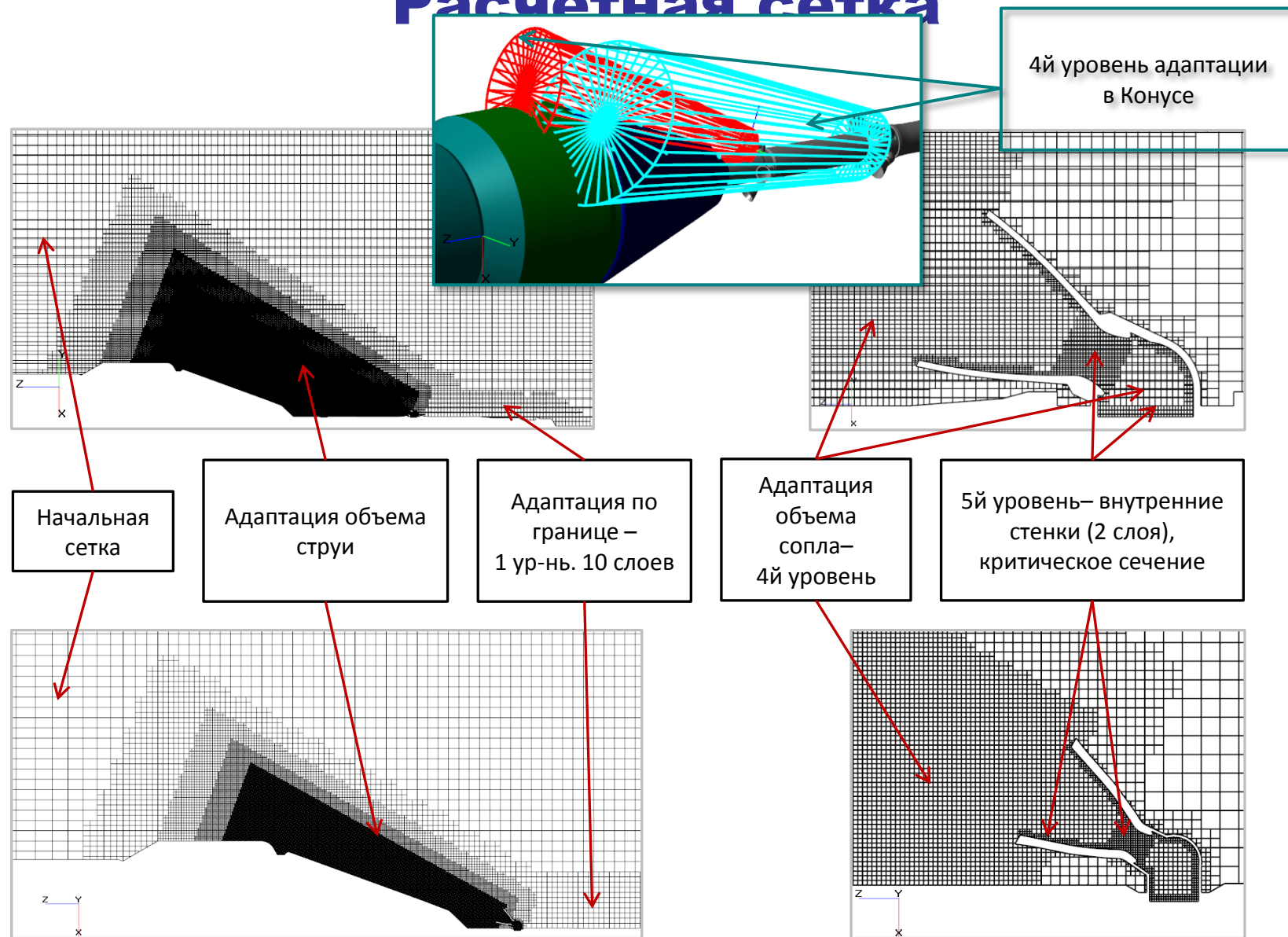
Срабатывание САС

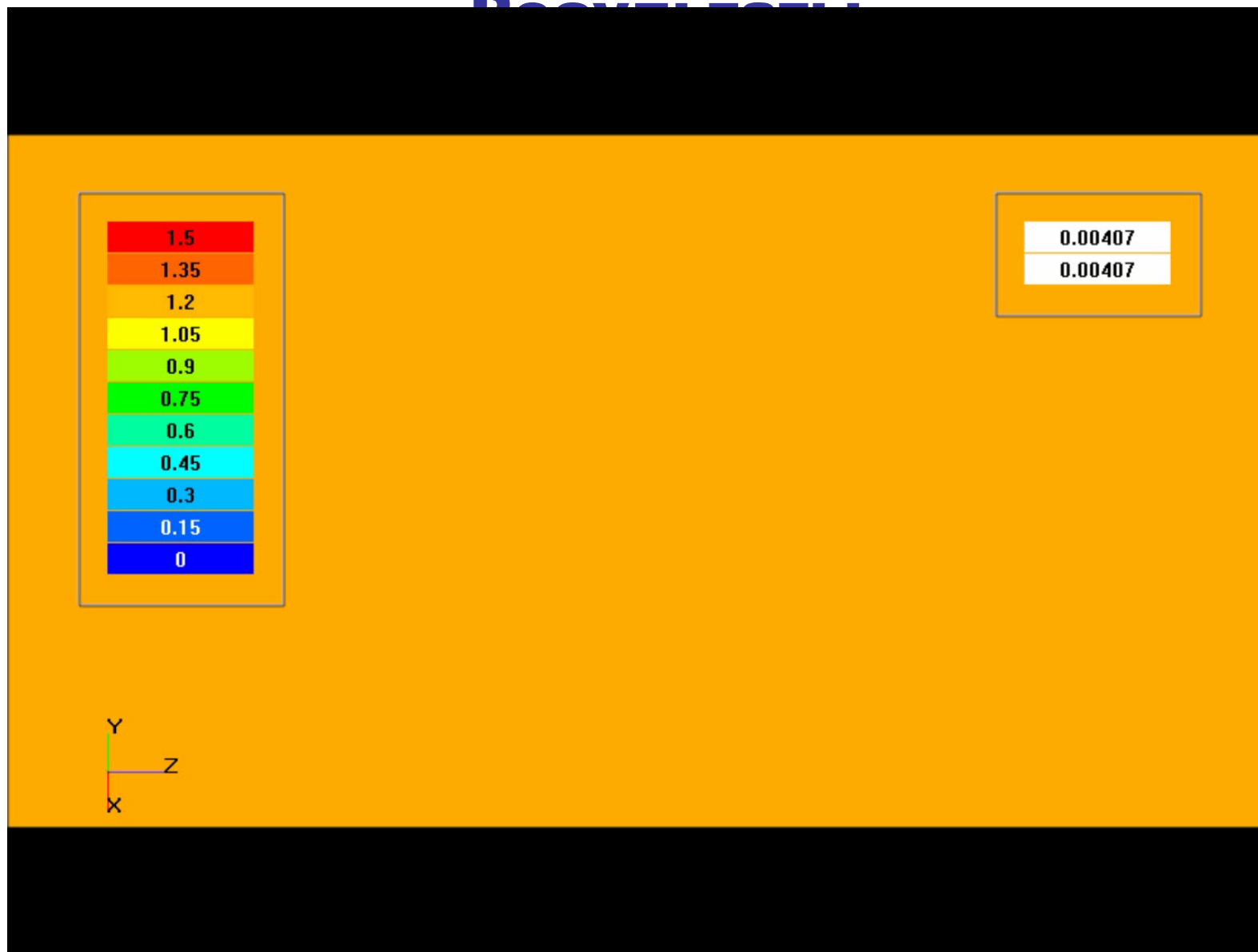


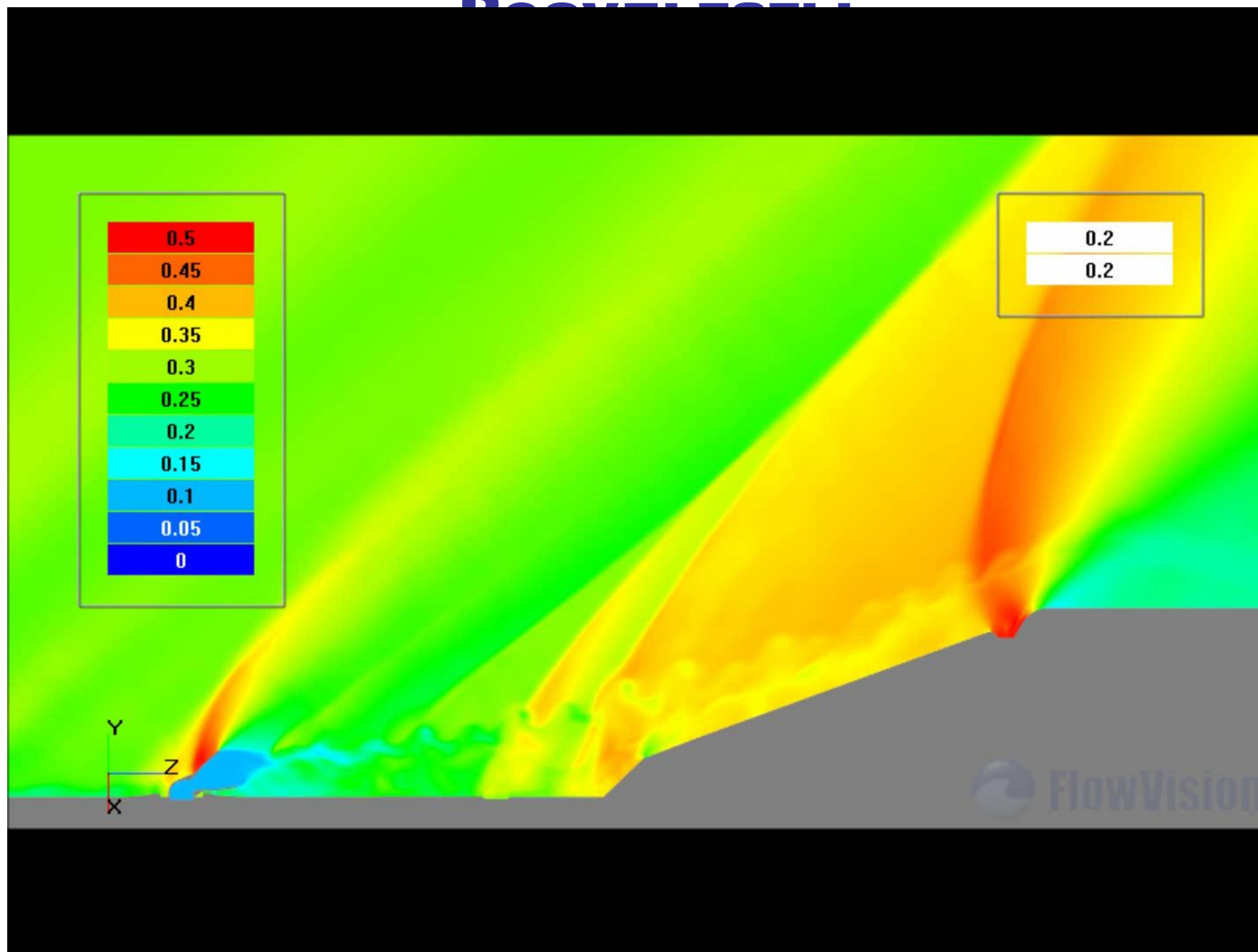
**Моделирование
нестационарного
ударного воздействия
силовой установки**



Расчетная сетка







Компоновочная схема ОГБ в составе РКН

Режим запуска ДУ

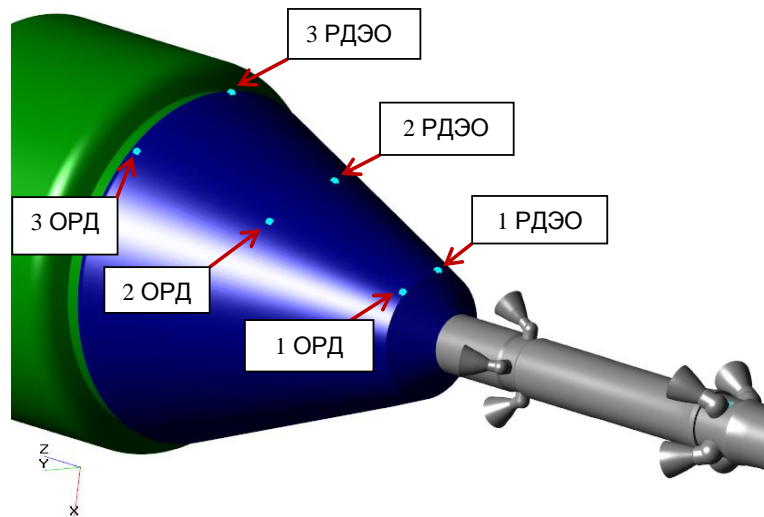


Схема расстановки «датчиков» давления в расчётах

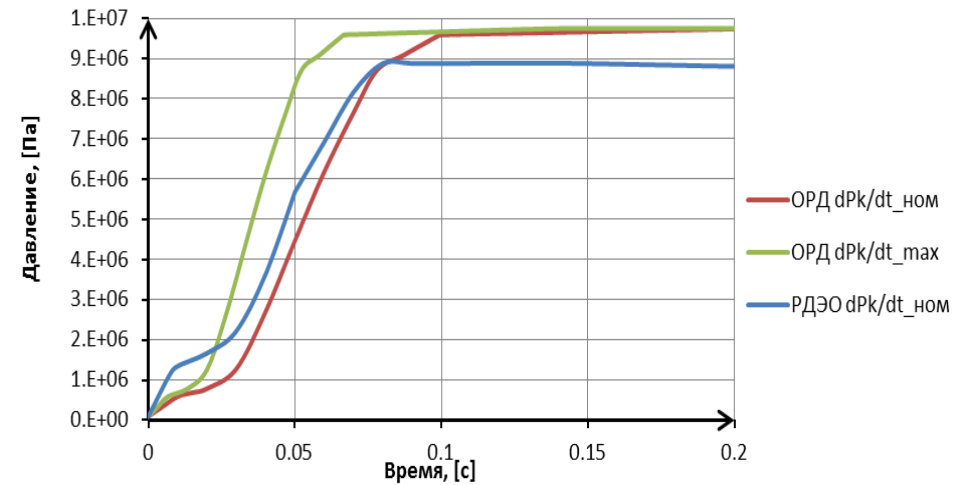
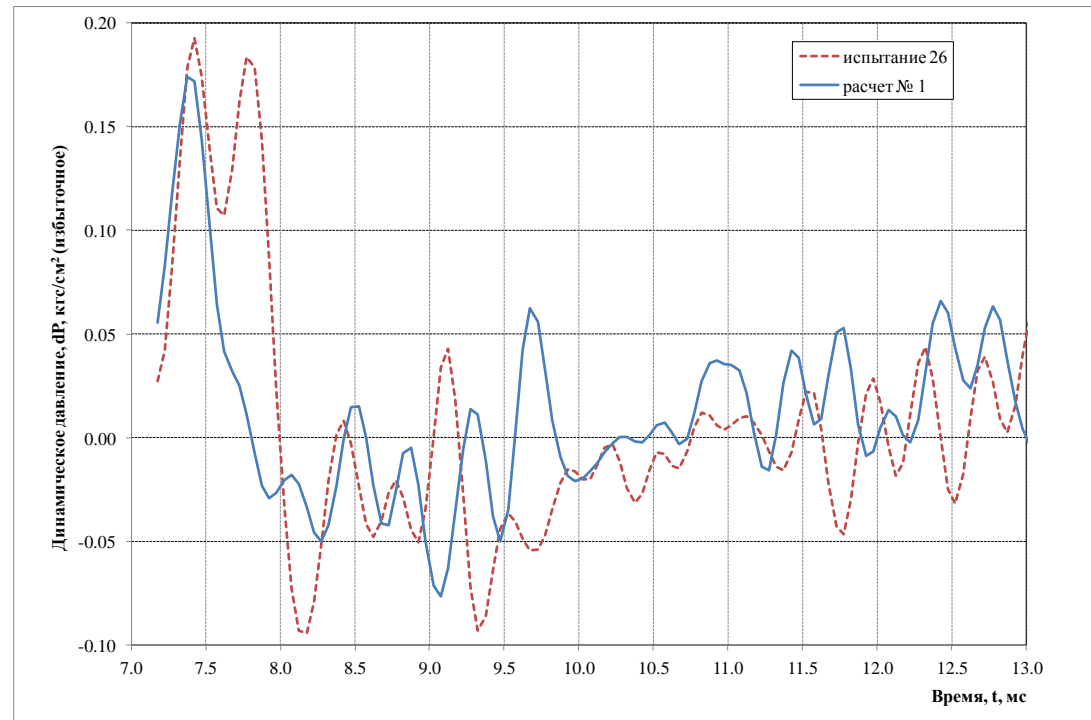


Диаграмма выхода на режим основного ракетного двигателя (ОРД) и ракетного двигателя экстренного отделения (РДЭО)

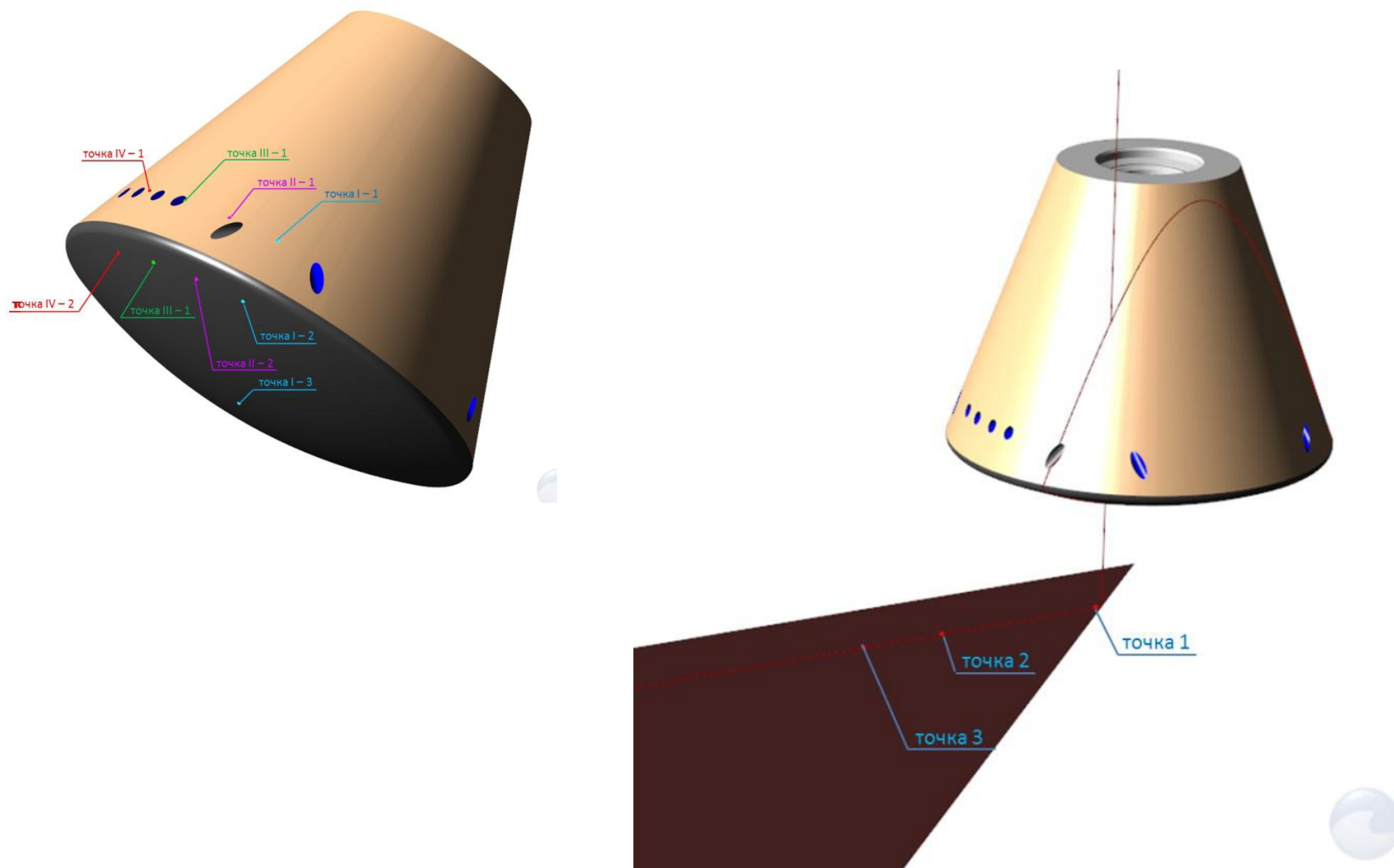
Результаты исследований. Запуск ОРД



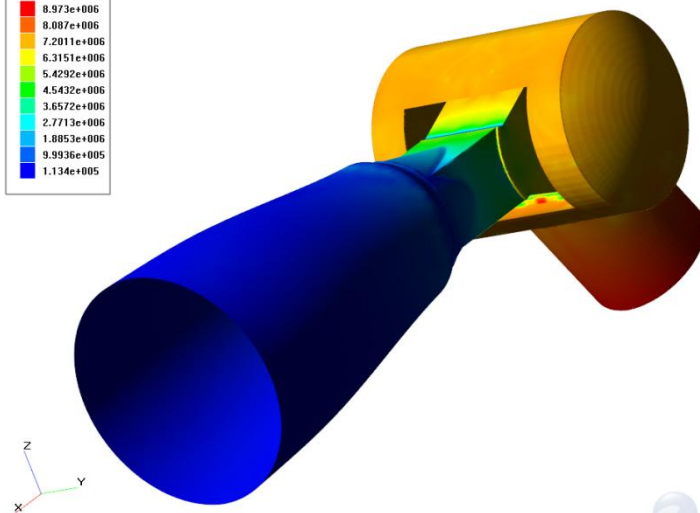
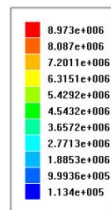
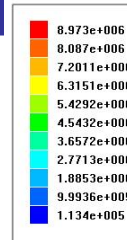
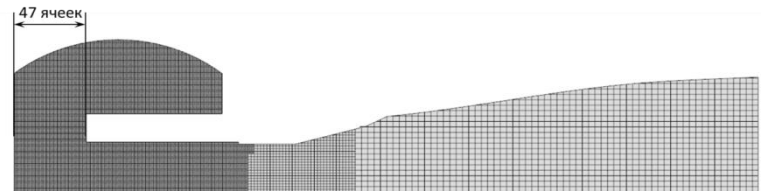
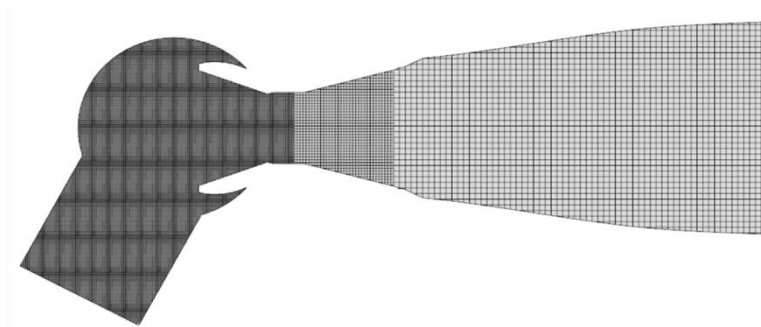
Газодинамические воздействия на модель ВА при
запуске ОРД ($M_\infty=0$, точка 1 ОРД)

5 ЭТАП УДАРНОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ РЕАКТИВНЫХ СТРУЙ НА СПУСКАЕМЫЙ МОДУЛЬ

Описание задачи

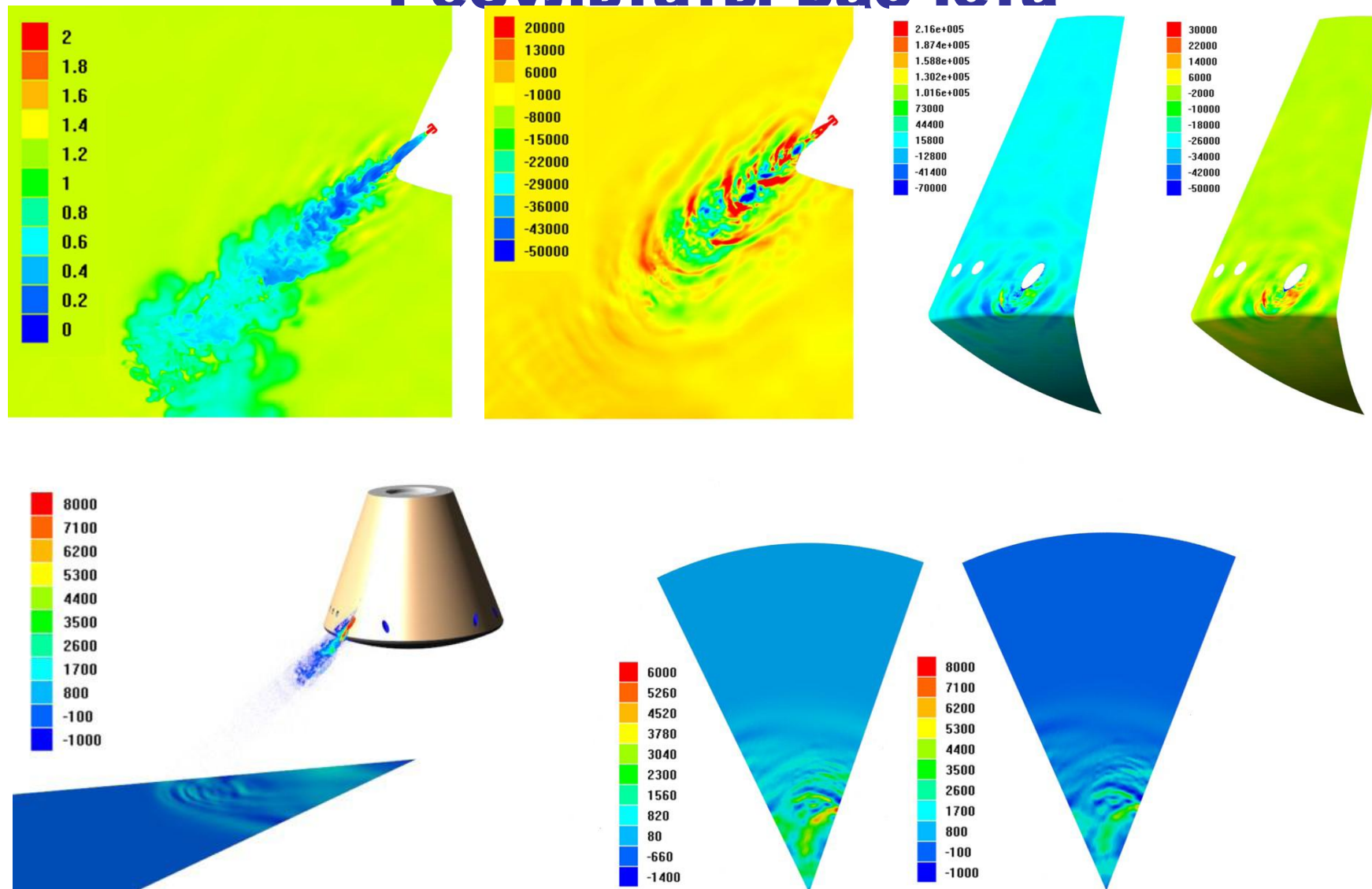


Описание

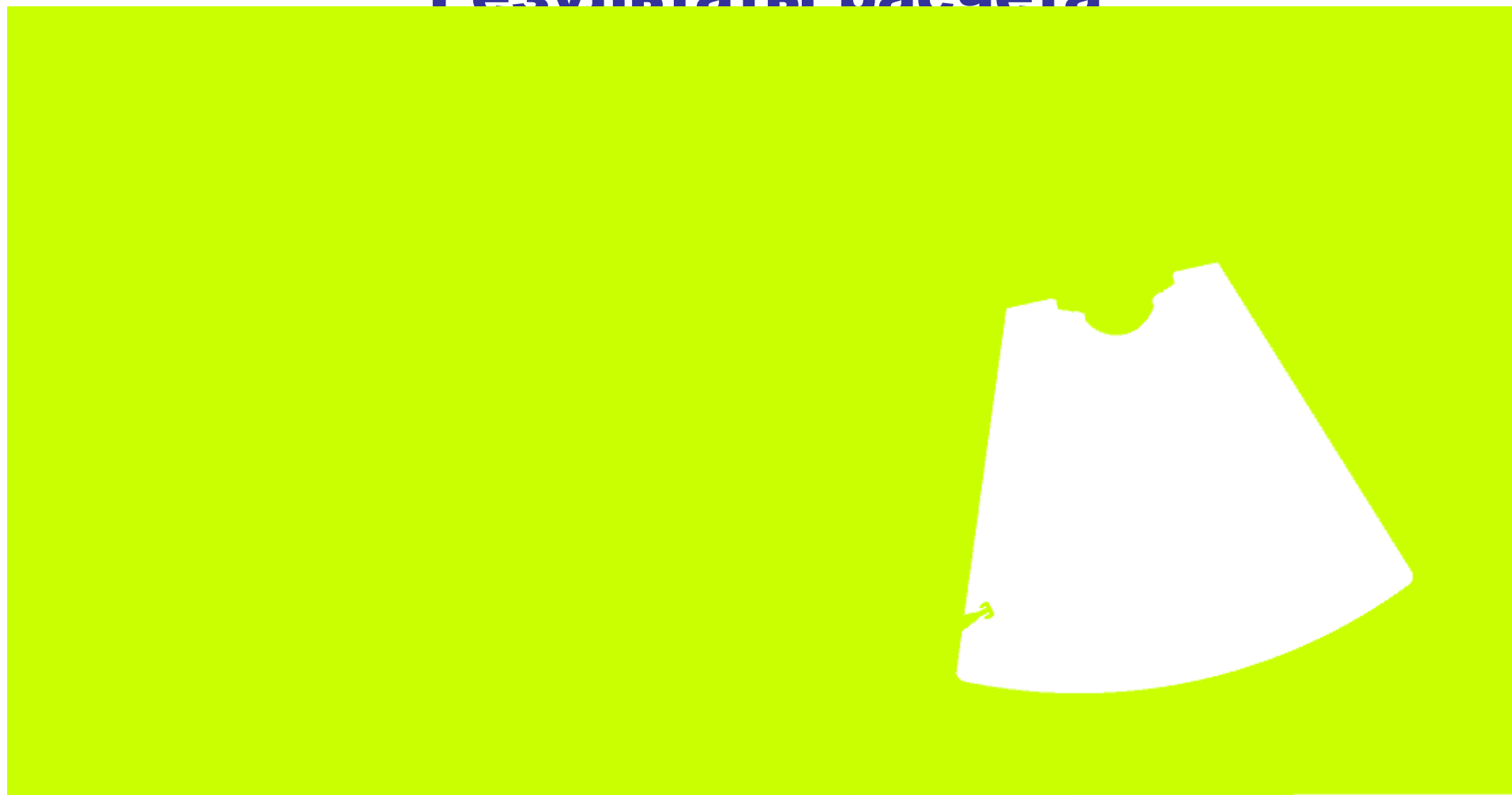


Flow

Результаты расчета

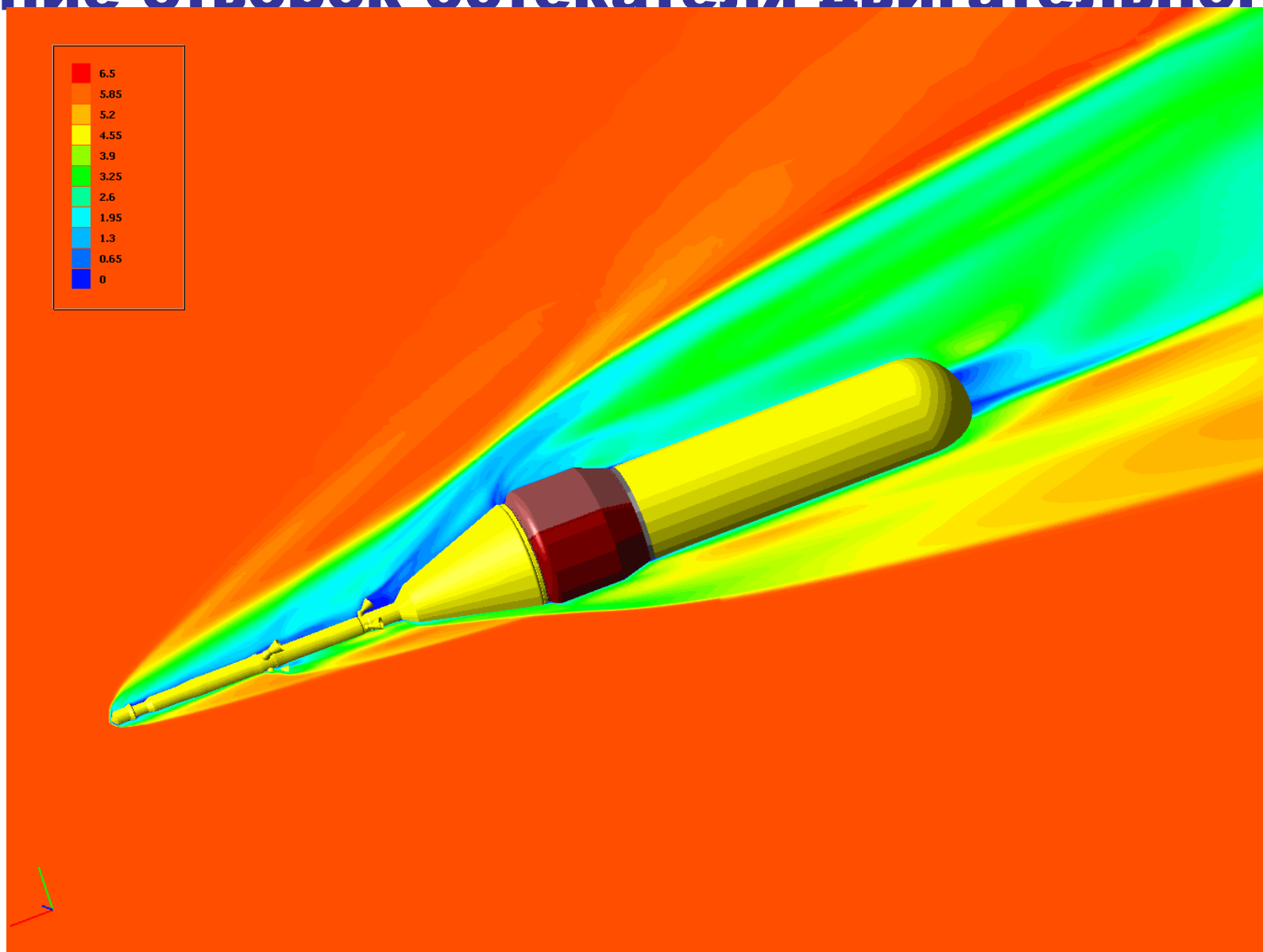


Результаты расчета



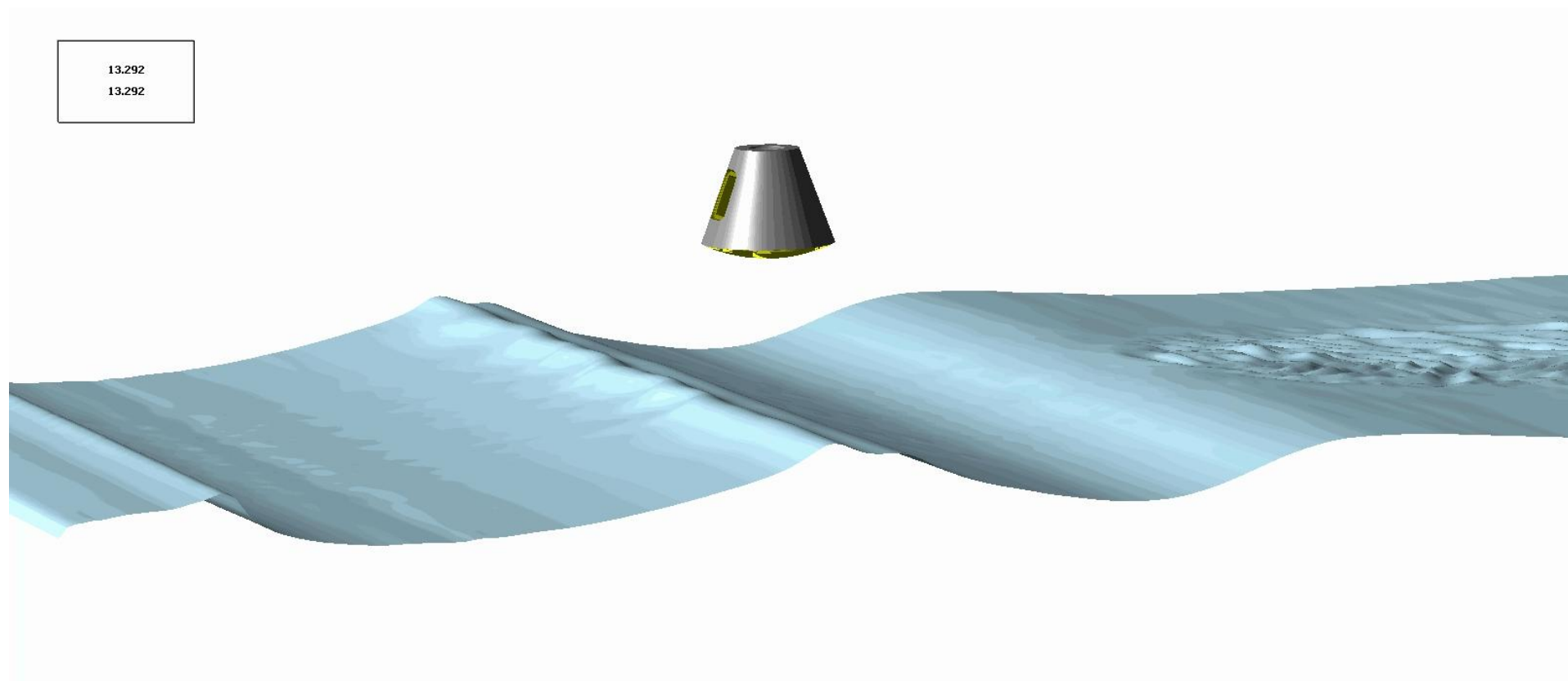
6 ЭТАП ОТДЕЛЕНИЕ СТВОРОК ОБТЕКАТЕЛЯ ДВИГАТЕЛЬНОГО ОТСЕКА

Отделение створок обтекателя двигательного отсека



7 ЭТАП ПРИВОДНЕНИЕ СПУСКАЕМОГО МОДУЛЯ

возвращаемого аппарата с неработающими двигателями в условиях волнения



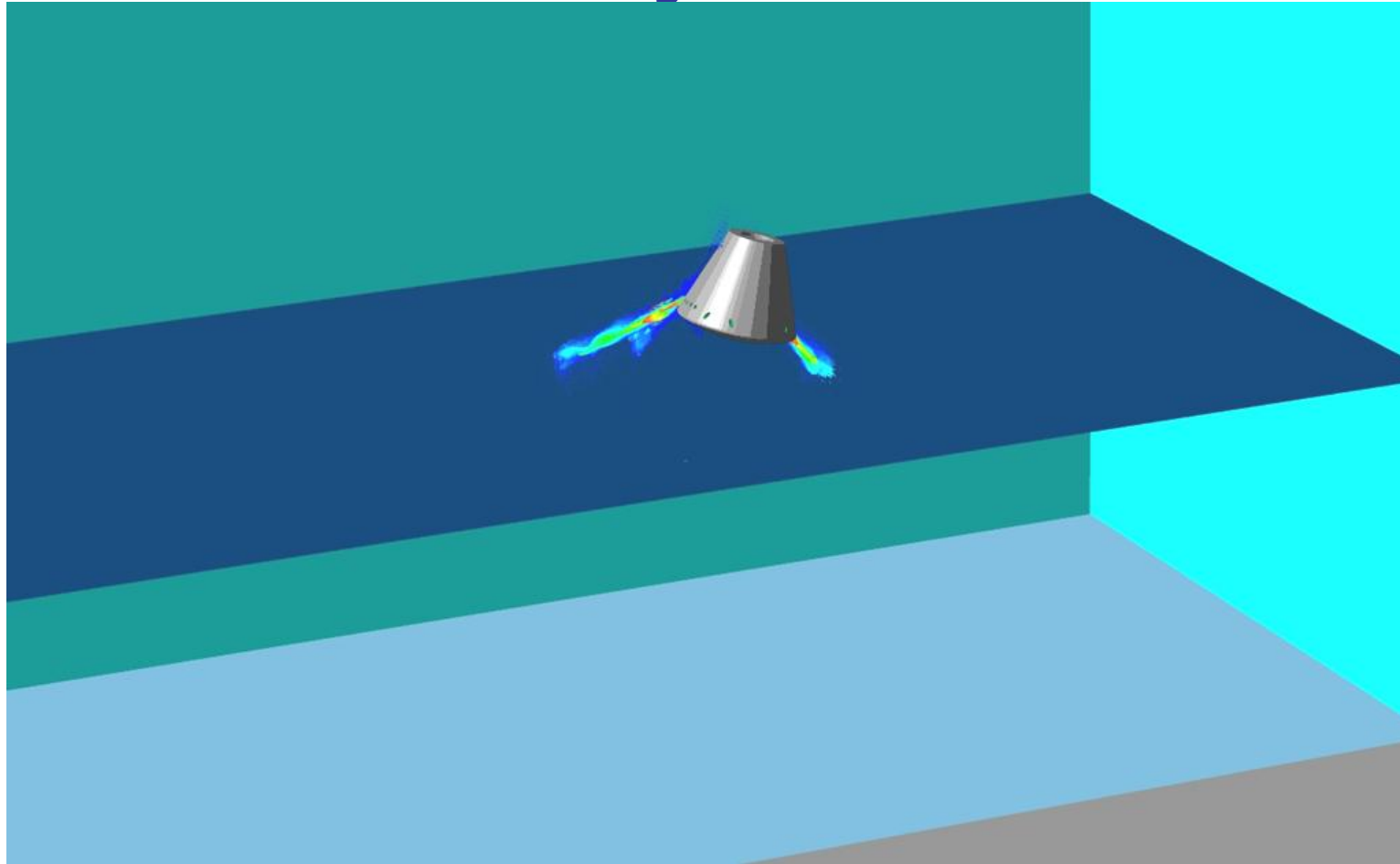
возвращаемого аппарата с неработающими двигателями в

0.039497
0.039497



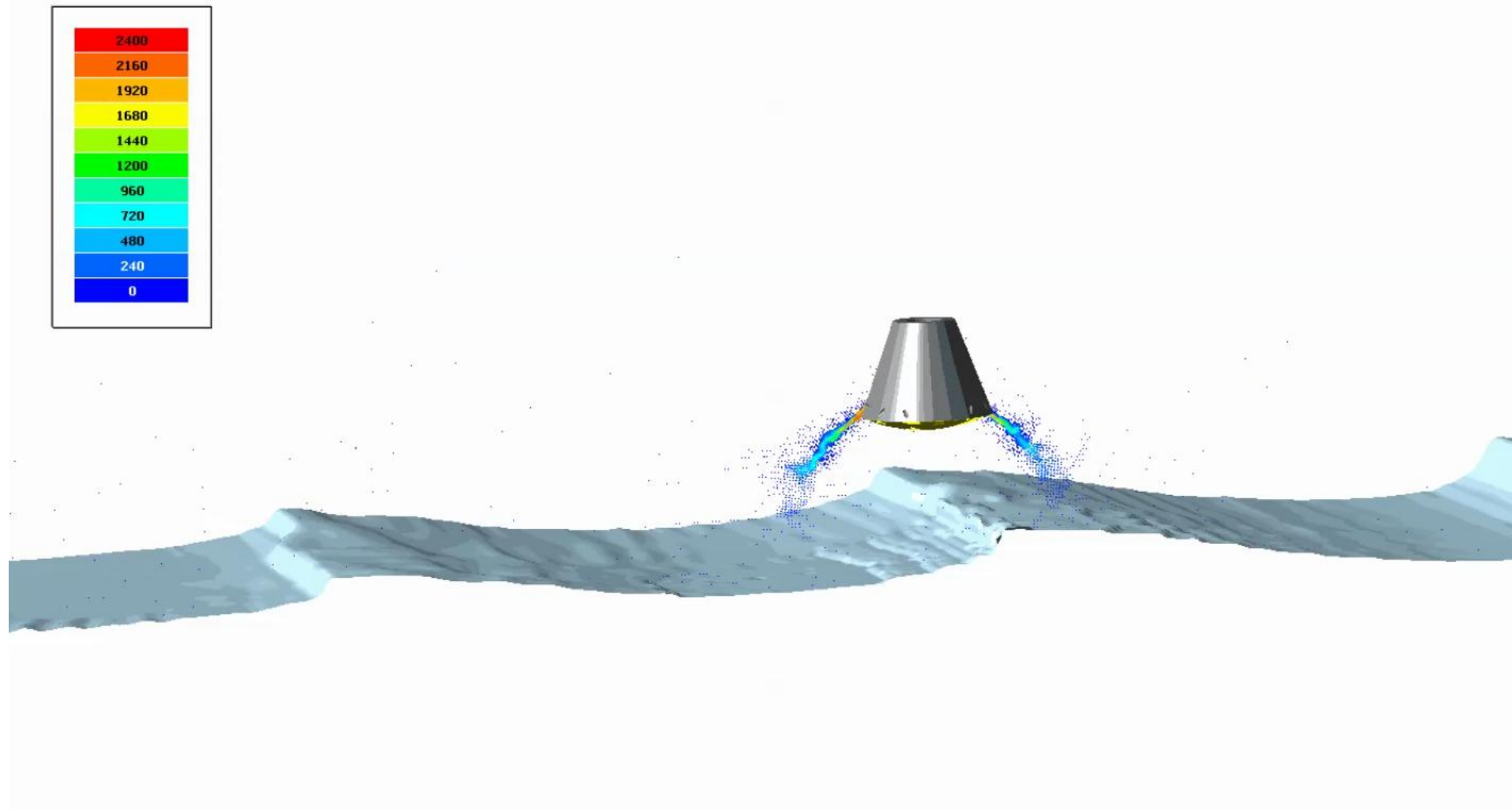
Вертикальная скорость посадки на момент
соприкосновения с водой = 8 м/с;
Горизонтальная скорость = 15 м/с;
Угол атаки составляет 20°

работающими двигателями в спокойный условиях



Сопла отключаются при соприкосновении с водой.
Вертикальная скорость на момент включения сопел = 9,8 м/с;
Угловая скорость = 30 об/с;
Угол атаки составляет 15°

работающими двигателями в условиях волнения



Thanks for attention!

