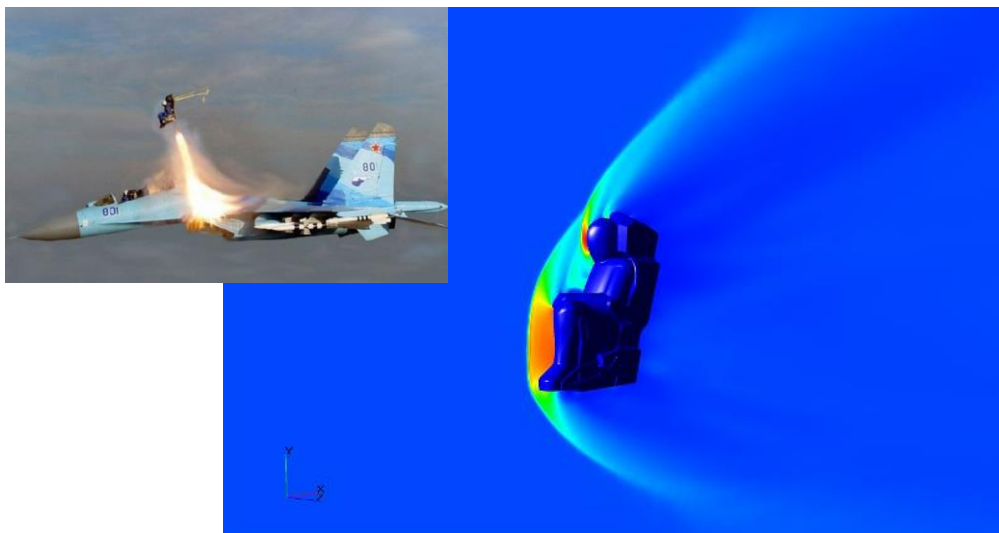


CFD-код FlowVision

Аксенов А.А
Технический директор ТЕСИС
к.ф.-м.н.

FlowVision – сделано в России

- Разрабатывается в компании ТЕСИС (г.Москва)
- Ядро команды - научная школа академика О.М.Белоцерковского
- Начало разработки FlowVision – 1991г.
- Основные разработчики - выпускники МФТИ, МГУ, МАИ, МГТУ им. Баумана
- В разработку вложено более 300 человеко-лет



Команда FlowVision

- Собственно разработка – 12 человек
- Общее тестирование – 2 человека
- Сопровождение (техническая поддержка) – 3 человека
- Внедрение – 8 человек



Общие цели и задачи кода

- Код общего назначения для решения задач промышленной аэро- гидродинамики
- Обладает всеми признаками коммерческого кода
 - Полностью отчуждаем (вплоть до использования его пиратами)
 - Документация пользователя
 - Учебник (тьюториал)
 - Техническая поддержка пользователей
 - Проведение обучения пользователей



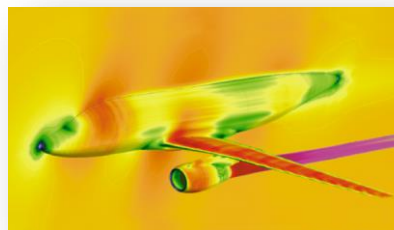
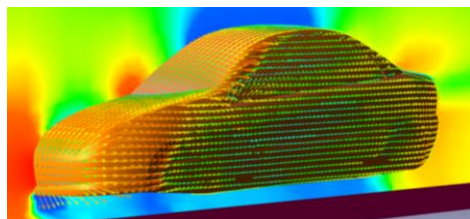
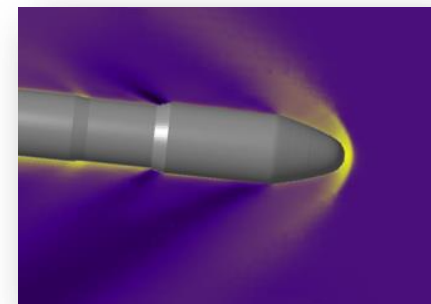
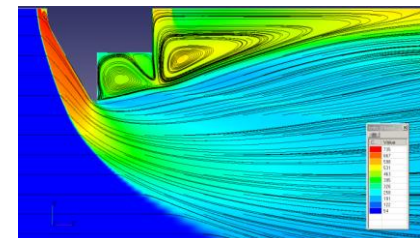
Интеграция с другими кодами для решения междисциплинарных задач

- ABAQUS (прочностной код), ЛЭГАК-ДК (Саров), NASTRAN (MSC, в будущем): решения задач FSI, 1 и 2-стороннее связывание, решения сильных задач FSI.
- LMS Virtual.Lab: акустика
- TORT (нейтронная физика): решение задач биологической защиты атомных реакторов
- IOSO (оптимизатор и интегратор): решение задач оптимизации аэродинамических форм
- EnSight (CEI) - визуализация



Классы моделируемых течений

- Течения при любых числах Маха – от несжимаемого течения ($M=0$) до гиперзвука
- Сопряженный теплообмен
- Многофазность
 - Контактная граница (свободная поверхность) между двумя объемными фазами
 - Моделирование дисперсной фазы
 - Пористость
- Горение
- Химреакции
- Радиационный теплообмен
- Электродинамика, джоулево тепловыделение



Математические модели

- **Уравнения Навье-Стокса (ньютонова и неньютонова жидкость)**
- **Модели турбулентности:**
 - k - ε “стандартная” (Лаундер-Сполдинг),
 - k - ε низкорейнольдсовая AKN,
 - k - ε квадратичная;
 - SST k - ω модель;
 - Спаларта-Аллмараса (Spalart-Allmaras);
- **движение многофазной несмешивающейся жидкости со свободными поверхностями с учетом поверхностного натяжения (VOF)**
- **сопряженный теплообмен;**



Математические модели-2

- горение;
- химическая кинетика (кол-во веществ неограниченно);
- алгебраическая модель зазора;
- лучистый теплообмен (простая модель P1);
- многокомпонентное течение (кол-во веществ неограниченно);
- пользовательские переменные: тригонометрические, статистические, логические, интегральные, локальные, гиперболические;
- Перенос дисперсной фазы (эйлеров подход)
- Пористость (анизотропная сила Дарси в уравнении Н-С)



Математические модели-3

- **Механика подвижных недеформируемых тел:**
 - 6 степеней свободы;
 - Учет сопротивления среды на положение тела;
 - Учет массо-инерционных характеристик;
- **Сильное взаимодействие жидкости и конструкций:
Решение сопряженных задач с FEA-пакетом SIMULIA Abaqus;**
 - связь по давлению
 - связь по температуре;
 - связь по перемещению поверхности конструкции
- **Скользкая сетка**
 - «честный» интерфейс
 - Freezing rotor
- **Периодические границы**

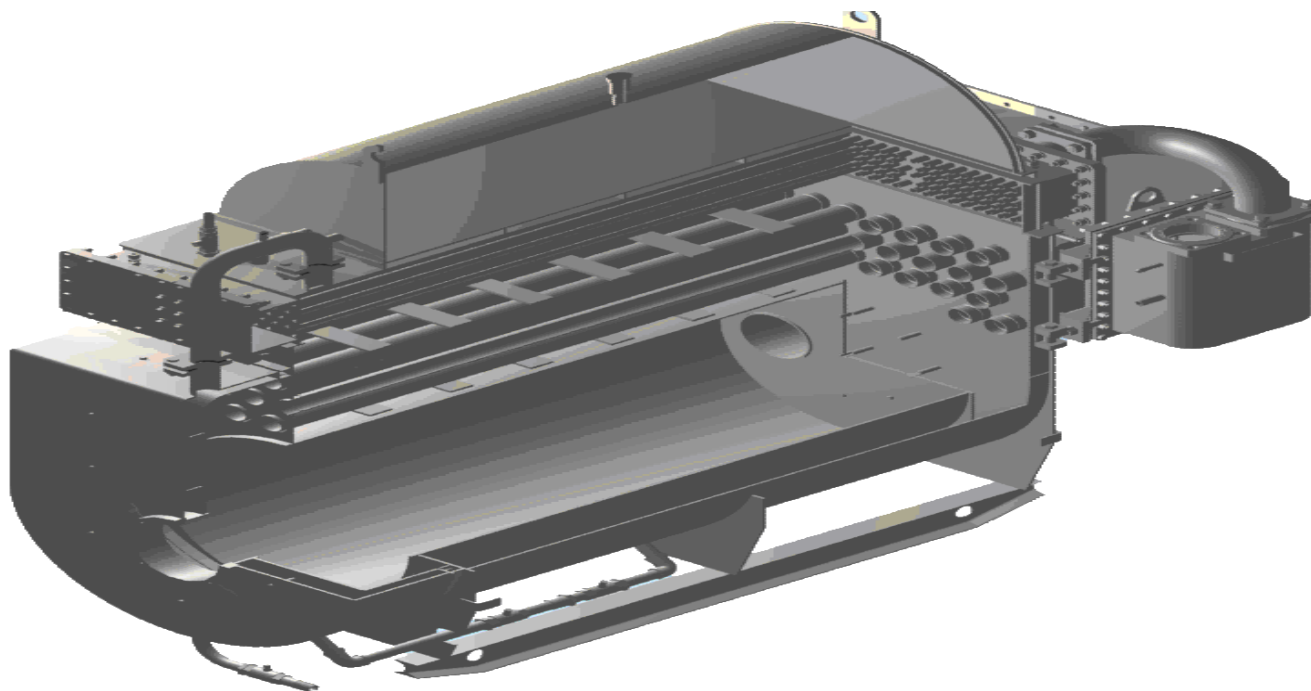


Расчетная сетка

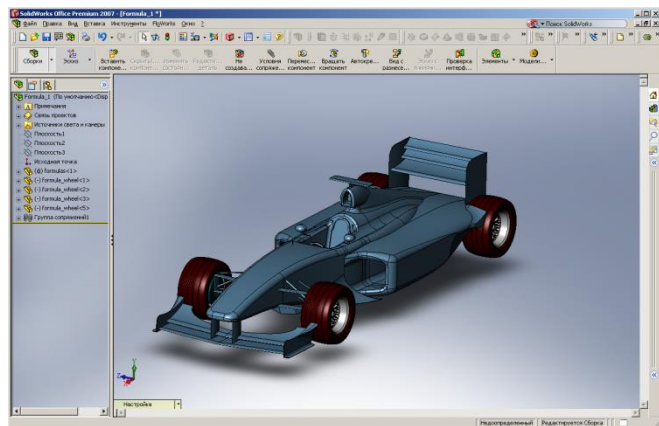


Описание границы области расчета

- Поверхность расчетной области в виде триангулированной поверхности
- Геометрический формат – STL, WRML – предоставляет любая система САПР

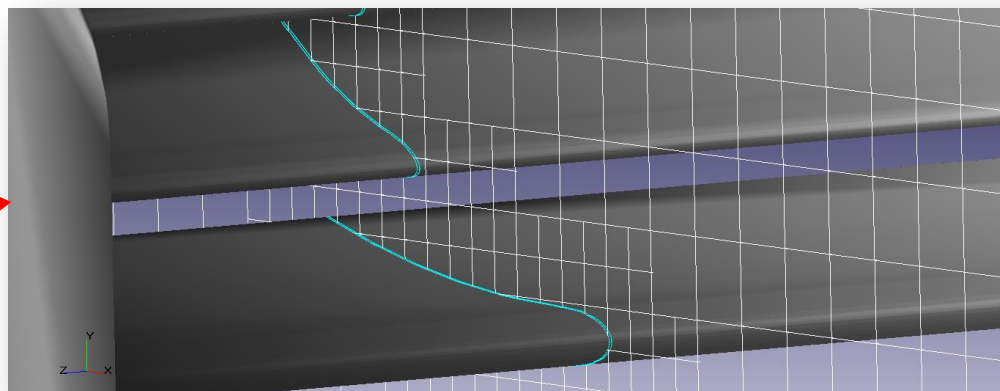
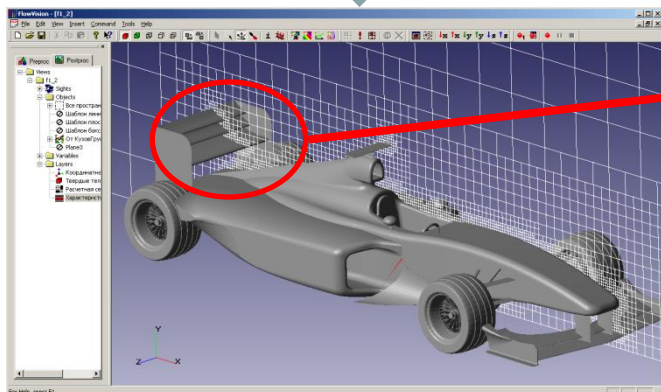


Автоматическая генерация сетки



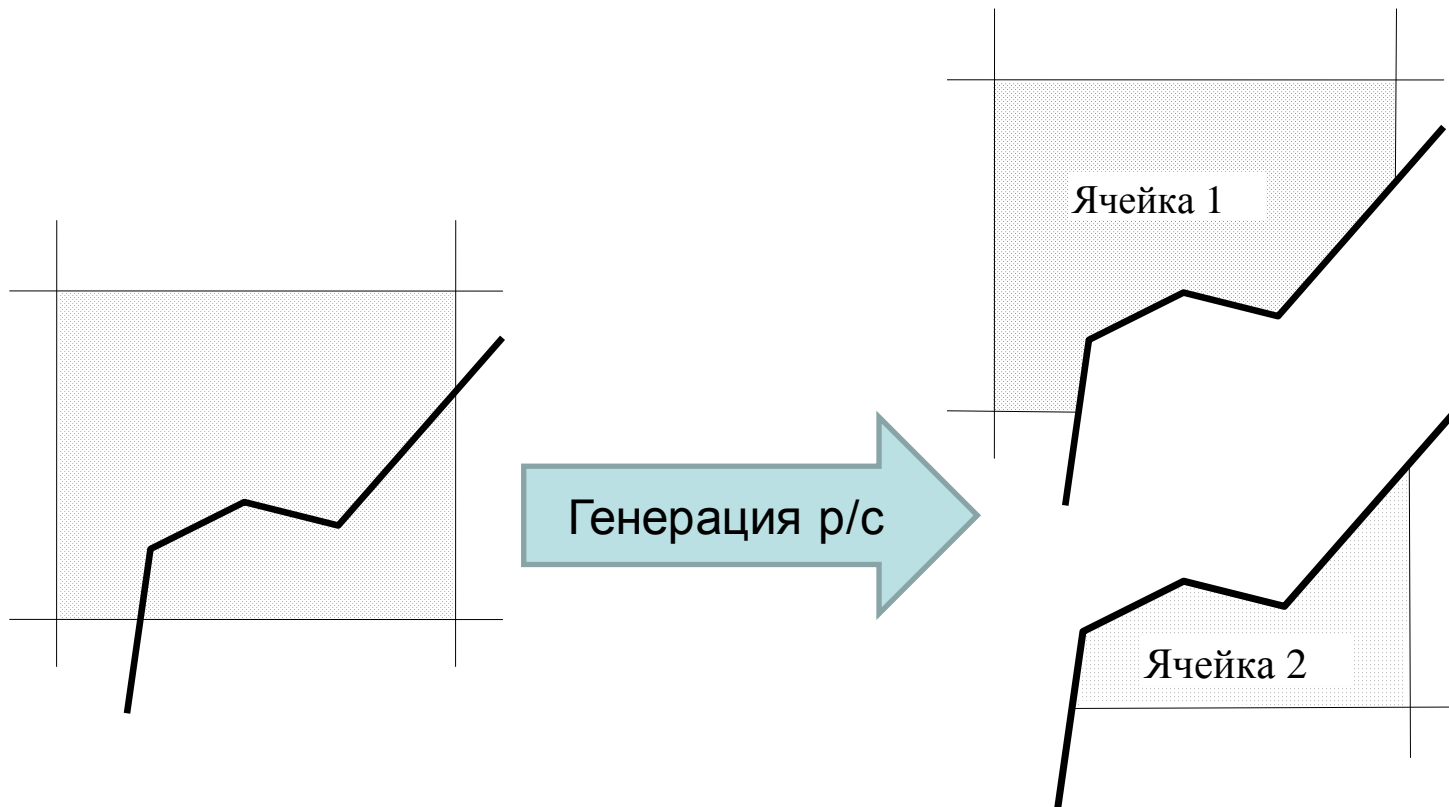
- Прямой импорт геометрии из САПР → простое определение геометрии
- Метод подсеточного разрешения геометрии → точная аппроксимация криволинейной границы
- Локальная динамическая адаптация сетки → разрешение особенностей геометрии и потока

Генерация сетки
занимает
< 1 мин



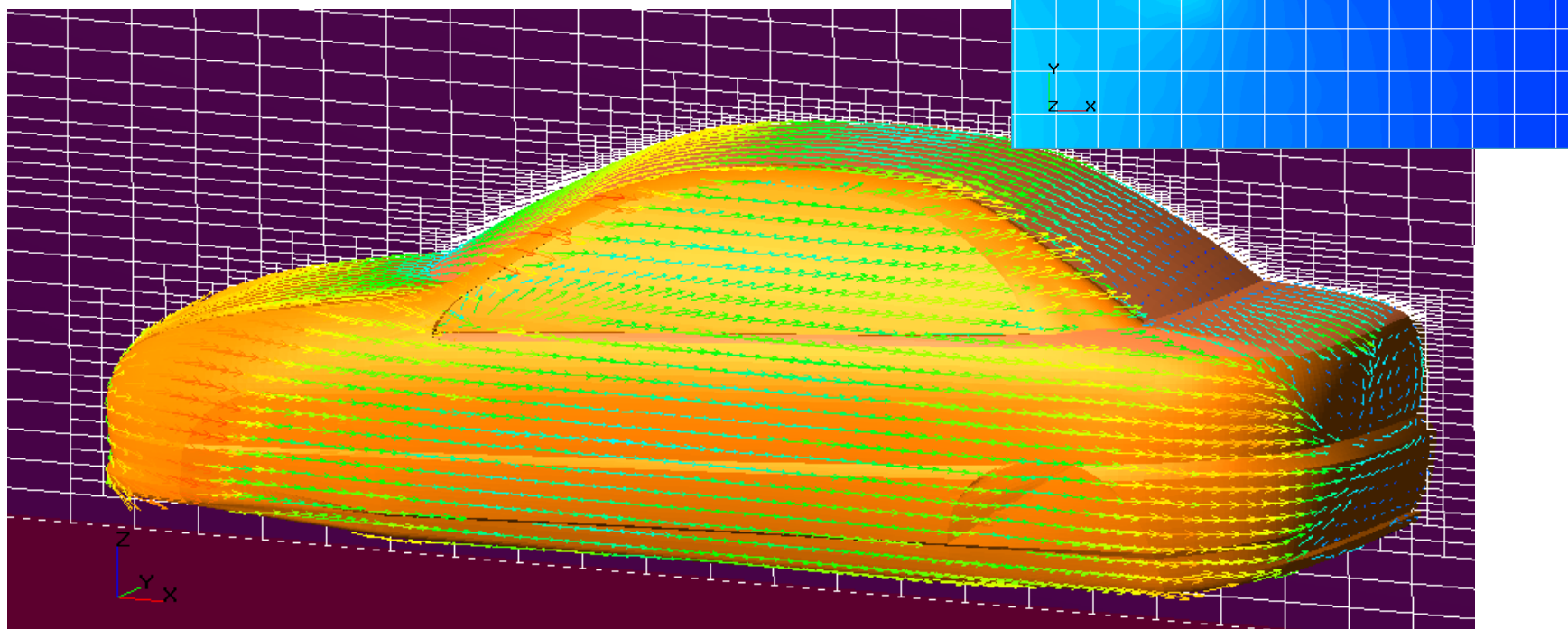
Метод «подсеточного разрешения геометрии»

- Вводится прямоугольная начальная расчетная сетка
- Обрезание ячеек поверхностями



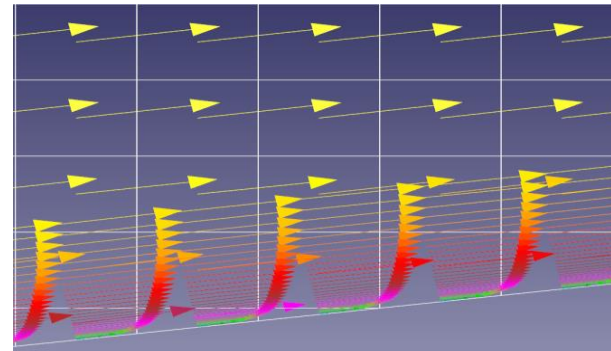
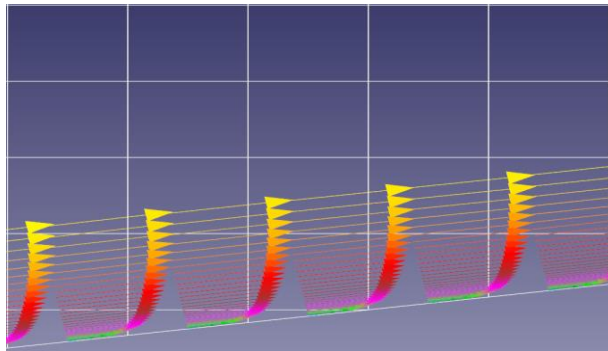
Адаптация сетки

- По границе расчетной области
- По величинам градиентов решения

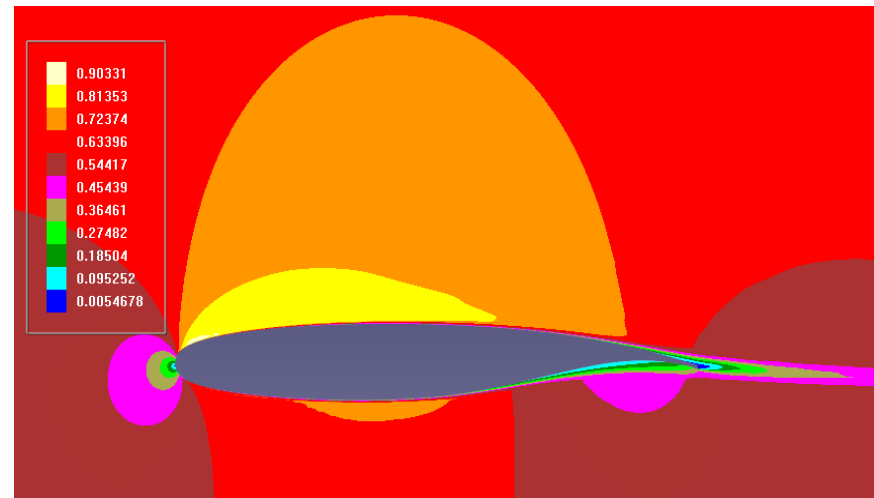
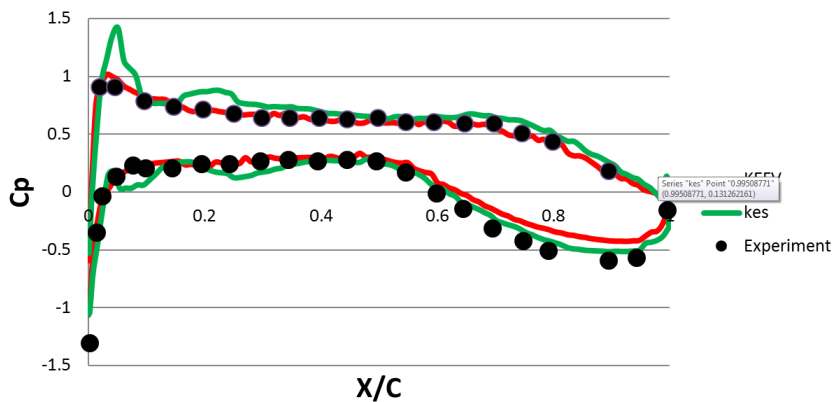


Разрешение пограничного слоя

- Используется «наложенная сетка»

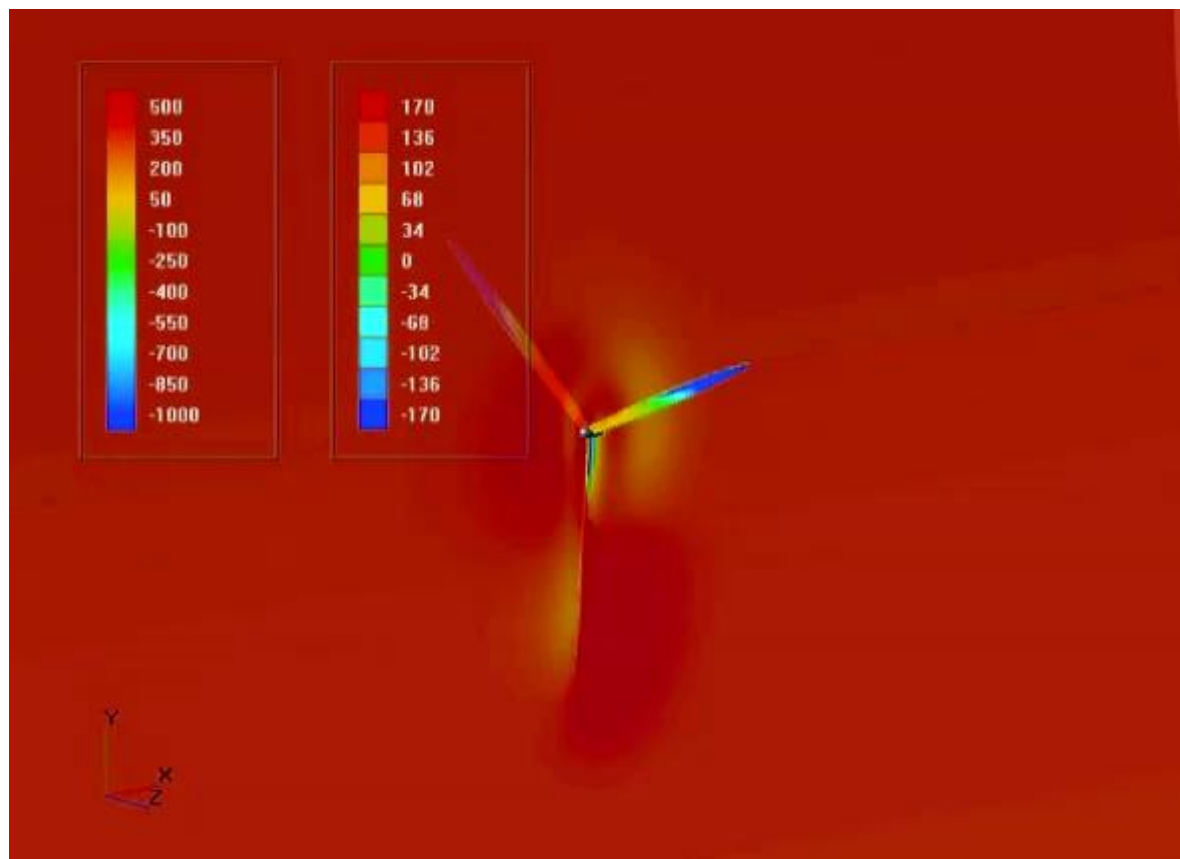


NASA SC(2)-0714 Airfoil $M=0.6$ $Re=10^6$
Angle=0



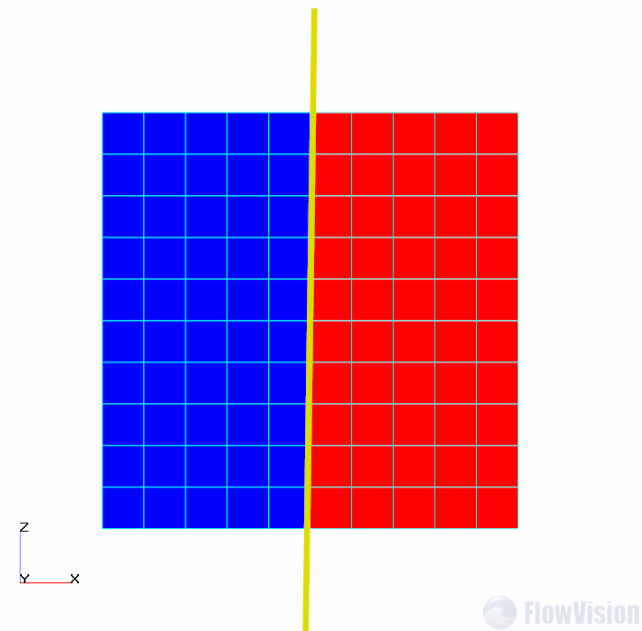
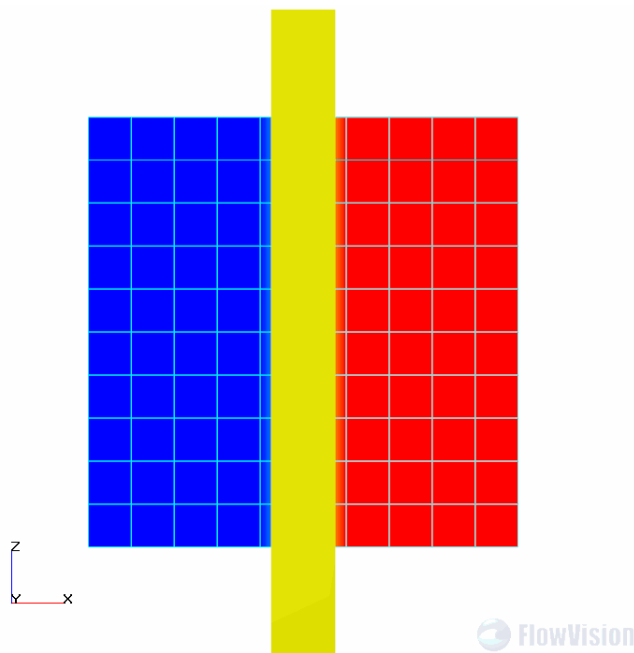
Скользящая сетка

- Взаимодействие ротор-статор
- Freezing rotor



Моделирование подвижных тел

- Эйлеров подход – сетка неподвижна. Ячейки появляются, исчезают, меняют объем
- Ячейки закрываются телом, данные из под них передаются по направлению движения тела
- Передача данных из под тела происходит правильно даже в том случае, если тело тоньше ячейки!



Препроцессор и постпроцессор

- Интегрированный код, препроцессор и постпроцессор – вместе
- Препроцессор – импорт геометрии, база данных веществ, установка матмоделей, НУ, ГУ
- Постпроцессор
 - Визуализация в плоскостях (вектора, заливки, изолинии)
 - Изоповерхности
 - Объемная визуализация (ray-tracing)
 - Вычисление интегральных величин (силы, средние по поверхности и по объему)
 - Пользовательские скалярные и векторные переменные, интегральные переменные



FlowVision 3.x interface showing a 3D model of a ship hull in a fluid domain.

Project window

- Preprocessor
 - Phases
 - Phase #0
 - Substances
 - Physical processes
 - Models
 - Model #0
 - Phases
 - Phase interaction
 - Init. data
 - Local frames of reference
 - Objects
 - Geometry
 - Sliding surfaces
 - Characteristics
 - User variables
 - Subregions
 - SubRegion #0
 - Boundary conditions
 - Geometry
 - Modifiers
 - Adaptation
 - Adaptation to solution
 - Initial conditions
 - Boundary links
 - Initial grid

Properties window

Physical processes [Count=7]

Heat transfer	(none)
Radiation	(none)
Motion	Newtonian fluid
Mass transfer	(none)
Turbulence	KES
Phase transfer	VOF model
EHD	(none)

Log window

Warning: Unknown class CDecompAuto has been encountered at FVSIMCTRL->OBJECT(class=CAAdvancedSettings,myid=-3)->OBJECT(class=CDecompAuto,myid=-2)
 Information: Project was updated to new version.
 Information: New status has been loaded (time=0.964913, step=56).
 Warning: Visualization data has not been loaded: unable to locate suitable file for time step number 56.
 Information: New project has been successfully loaded from D:\ClientProject\20100320_RSD19test_w_Vs11_v307x64\

Monitor window

	Time	Number of step	Time step	Explicit time step	Cell count
Status	0.964913	56	0.0137418	0.00479401	271979

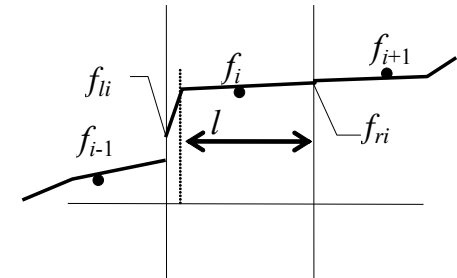
Plot	Equation	Iterations	Algebraic residual	Functional residual
Pressure		70	1.54911e-011	0.000597352
Velocity		10	5.52961e-011	0.131841
TurbEnergy		29	3.63894e-010	0.0279287
TurbDissipation		10	3.74482e-008	0.0254524

Modeled physical processes



Методы

- Конечно-объемный
- 2-ой порядок аппроксимации
- Диффузионный поток – центральные разности
- Конвективный поток – 5-точечный шаблон, направленная нелинейная монотонная схема «гладкая реконструкция с дополнительной точкой» (ПДП – $O(t^2, h^2)$)
- P-V-coupling – схема расщепления в переменных P-V
- Неявные и явные методы интегрирования по времени
- Решение СЛАУ – крыловские методы (ограниченный GMRES) и AMG



FlowVision – клиент-серверная архитектура и параллельная визуализация

- Пользователь Windows может легко работать на Linux кластере без каких-либо знаний Linux
- Несколько пользователей могут одновременно работать с одним проектом FlowVision



Управление проектом

Передача графических метаданных

Графические метаданные это «сырье» для изображения объектов в постпроцессоре (набор треугольников, линий и точек)



Воспроизведение метаданных

- Быстрая визуализация CFD результатов, полученных на кластере
- Возможность визуализации больших проектов FlowVision



Параллельные вычисления

- Многоуровневое распараллеливание MPI+OpenMP (точнее TBV)
- На задачах со стационарными сетками – минимальное число ячеек на процессор до 10 000
- Автоматическая балансировка загрузки процессоров
- Визуализация – параллельная
- Проводились расчёты до 160 млн ячеек (ядерный реактор)
- Максимальный тестовый запуск – до 10 000 ядер



Техника и политика тестирования

- Регрессивное тестирование по Базе тестов
 - Автоматически, ежедневное тестирование (12 часов) (малая база тестов),
 - Автоматическое, еженедельное тестирование (48 часов)
 - Ручное тестирование «больших» задач пользователей
- База данных тестов – порядка 500 проектов
- Ручное и автоматическое тестирование интерфейса



Документация

- Инструкция пользователя на русском и английском языках (более 1000 стр)
- Учебник (тьюториал) с примерами решения задач для самостоятельного обучения
- WEB-форма инструкции пользователя



Средства разработки и наличие версий

- **Язык C++**
- **MSDEV**
- **Профайлеры, компиляторы и др. инструменты INTEL**
- **Средство хранения кода – TFS от MS**
- **Организация работ – через RedMine**
- **Версии есть, выход новых версий раз в полгода (примерно)**
- **Текущая версия – 3.09.02 (3 – номер поколения FV, 9 – версия, 2 – номер апдейта версии)**



Планы на будущее

- N-фазный солвер VOF, где N-любое
- Фазовый переход
- Сложная физхимия
- Более сложные модели радиационного переноса
- Коллизии и шарнирные соединения у подвижных тел
- Линейный и нелинейный P-V каплинг
- Схемы высокого порядка
- Импорт любых сеток и расчет на них
- Блочные сетки SGRM для расчета уравнений внутри подвижных тел
- Открытый API для подключения сторонних методов, сеток, матмоделей, ГУ, расчетных схем, методов визуализации. Создание «вычислительной платформы CFD-ЛЕГО»



FlowVision – ключевые пользователи

Роскосмос - РКК «Энергия им.С.П.Королева», ЦНИИМАШ,
ГРЦ им. академика В.П.Макеева, КБ «Южное»



Авиация - ЦАГИ, ГосНИИАС, АК им. С.В.Ильюшина, НПП
«Звезда»



Росатом - НИКИЭТ, ОКБМ Африкантов, ВНИИЭФ, ФЭИ,
НИАЭП



ОПК - КБМ, Сплав, ЦКБ Титан



Судостроение – Зеленодольское ПКБ, Алмаз, Морская
техника



Зарубежные клиенты - Goodyear, DANA, DSM, Taiwan Power
Corporation, FireBridge Inc.



FlowVision – характерные черты

- Полностью автоматическая генерация расчетной сетки с локальной динамической адаптацией,
- Разрешение пограничных слоев - без ограничения на сложность поверхности,
- Моделирование взаимодействия жидкости/газа с подвижными и гибкими конструкциями,
- Моделирование движение жидкости и газа в системах с ультратонкими зазорами,
- Проведение расчетов и визуализация результатов на современных суперкомпьютерах с гетерогенным параллелизмом (> 10 000 ядер)

