

Применение Flow Vision

Опыт использования FlowVision
на ТАНТК им. Г.М. Бериева
для моделирования различных
гидродинамических задач

Применение Flow Vision

Далее представлены результаты экспериментов:

1. Моделирование плавания объёмного тела.
2. Установление уровня жидкости в баке с переборкой.
3. Обтекание плоскокилеватого днища.
4. Сброс жидкости из бака в набегающий воздушный поток.

Применение Flow Vision

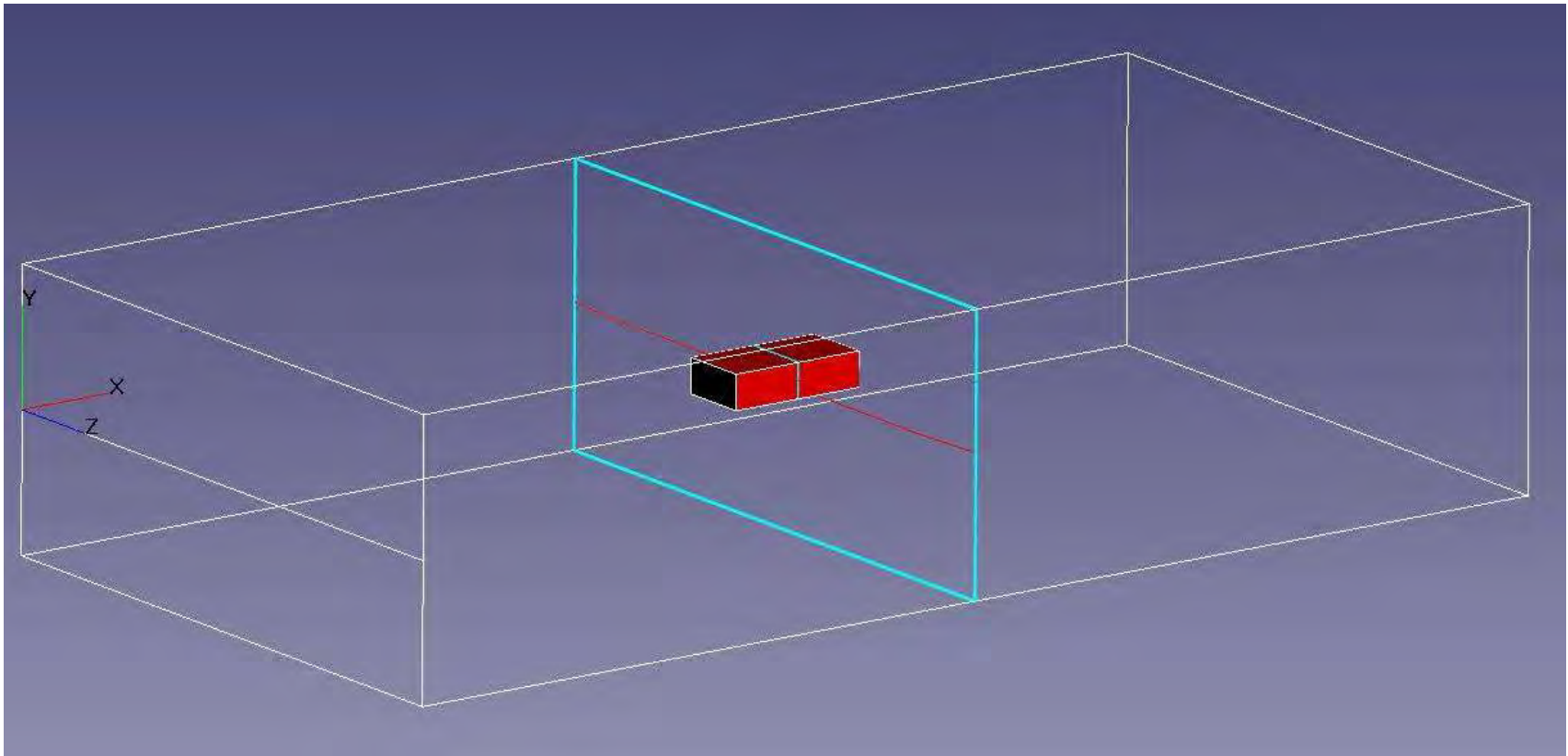
Моделирование плавания объёмного тела.

Используется математическая модель со свободной поверхностью (Free Surface).

- Включены уравнения Навье-Стокса (velocity) и уравнение переноса функции заполнения VOF (метод отслеживания свободной поверхности), уравнение турбулентности не включено, т.е. вихреобразование не учитывалось в данном эксперименте.
- В модели рассчитывается только жидкая фаза.
- Учитывается гравитация, $g=9,81$ кг/м².
- Плотность жидкости составляет 1000 кг/м³, температура 273 К, атмосферное давление 101000 Па.

Применение Flow Vision

Моделирование плавания объёмного тела.



Геометрия задачи – расчётная область и тело.

Применение Flow Vision

Моделирование плавания объёмного тела.

Объектом исследования выбран параллелепипед.

- Размеры: 0,2x0,05x0,1 метра (XYZ).
- Объём тела 0,001м³ (1 литр).
- Масса тела составляет 0,5 кг.

Массовый центр тяжести тела расположен ниже геометрического центра тяжести на 0,01 м (см. рис.3).

Массовый центр тяжести совпадает с центром вращения тела.

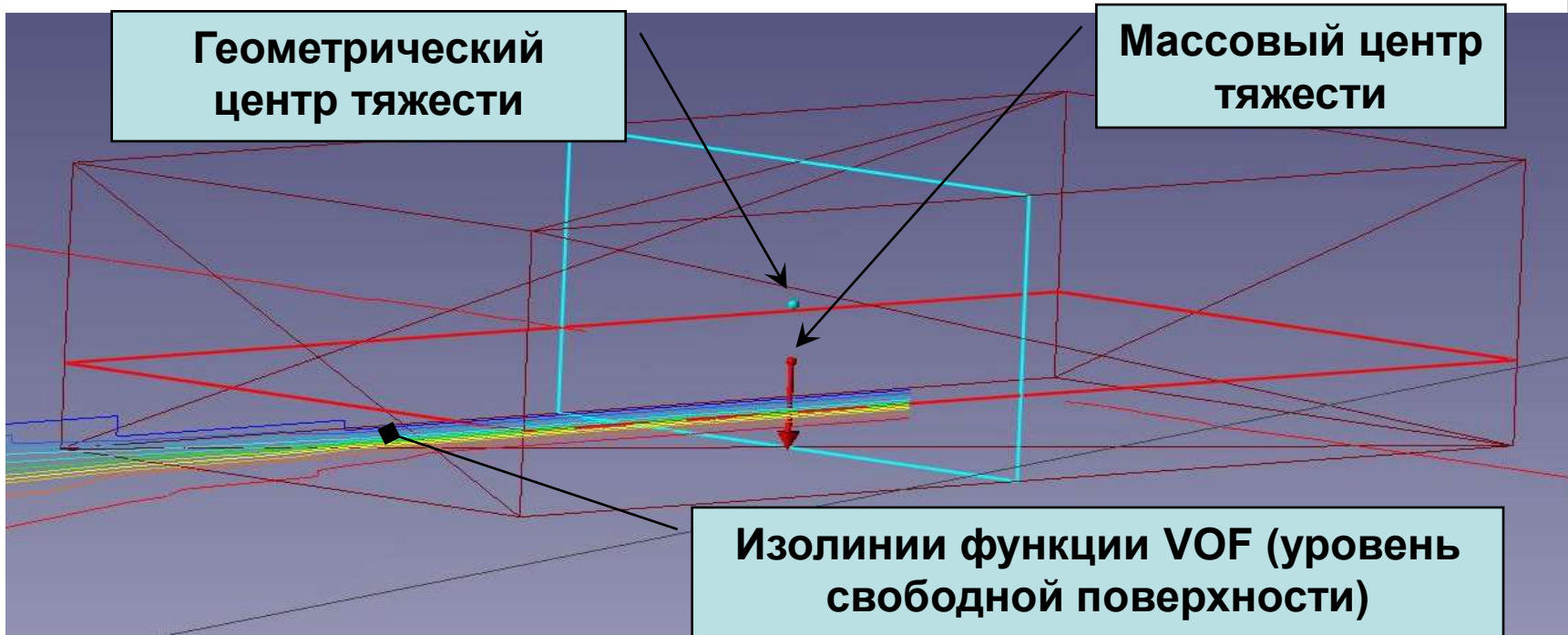
Моменты инерции тела (относительно массового ц.т.): $I_{xx}= 0.00057083$,
 $I_{yy}=0.00208333$, $I_{zz}=0.00182083$,кг м².

Размеры бассейна (расчетной зоны) (размеры): 1,8x0,4x0,9 метров (XYZ).

- Уровень воды в бассейне 0,2 метра (от дна).
- Исследуемое тело расположено по центру бассейна.
- Начальное положение тела относительно границы раздела вода-воздух: **геометрический центр** тяжести тела находится на границе раздела сред, углы относительно осей – 0 градусов.

Применение Flow Vision

Моделирование плавания объёмного тела.



Геометрия модели – центр тяжести и свободная поверхность.

Применение Flow Vision

Моделирование плавания объёмного тела.

Граничные условия:

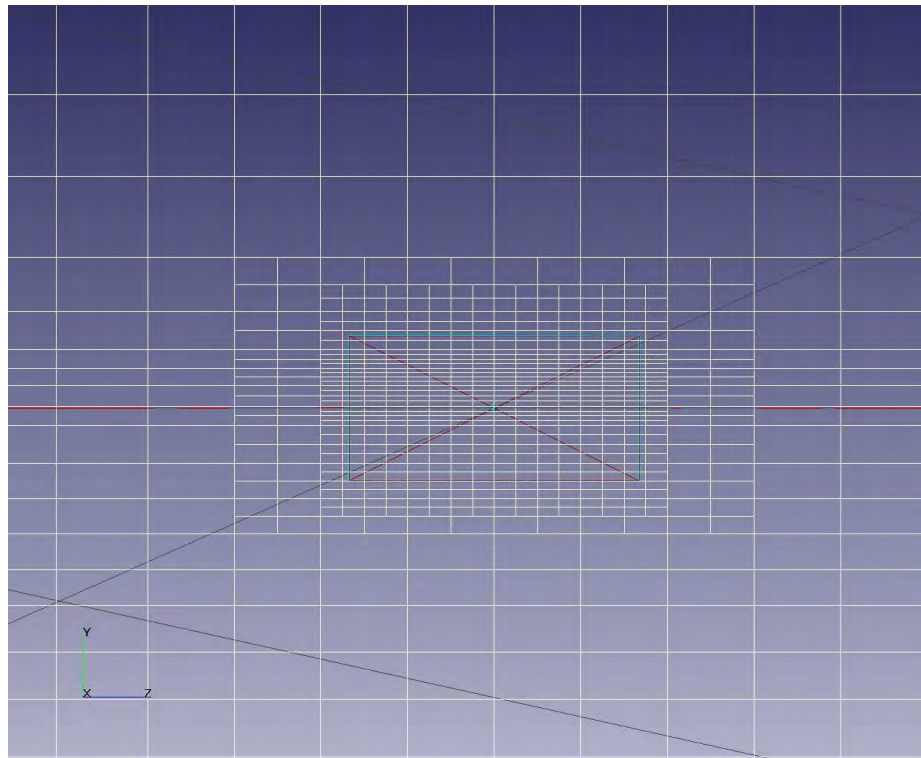
- на боковых стенках задано условие выход (Full Outlet),
- на поверхности тела – условие Стенка (Wall) («непротекание»),
- на остальных поверхностях – условие симметрия (Symmetry).

Расчётная сетка:

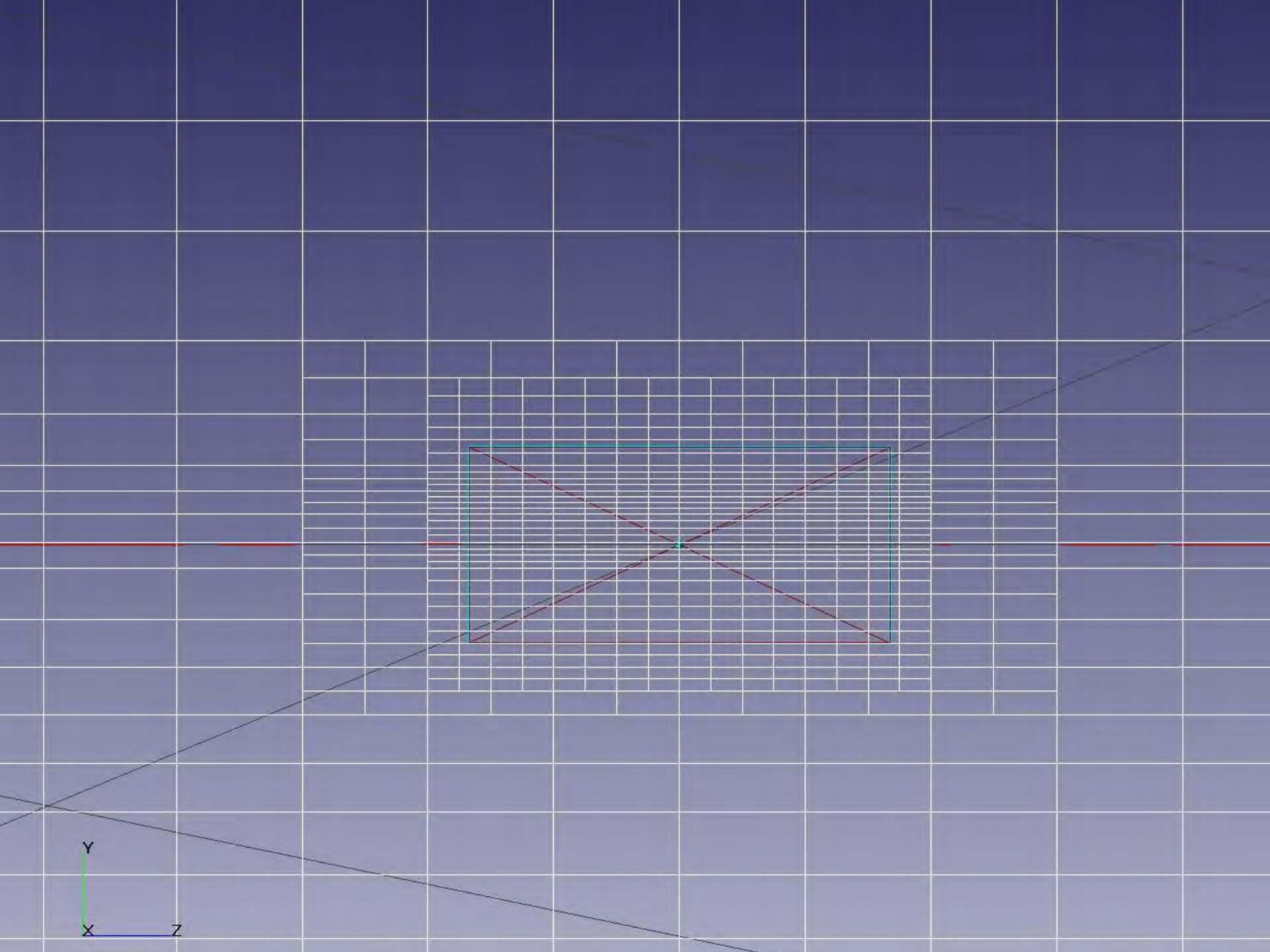
Составила 15456 элементов, из них расчётных - 11497 ,
по поверхности тела задано измельчение сетки (адаптация с уровнем 2),
разбиение начальной расчётной сетки по XYZ: 16x20x21.

Применение Flow Vision

Моделирование плавания объёмного тела.



Расчётная сетка с измельчением по границе исследуемого тела.



Применение Flow Vision

Моделирование плавания объёмного тела.

Расчёт производился

на ПК с процессором Pentium 1,5 ГГц , объём оперативной памяти RAM 1 Гб.

Было просчитано 15541 итераций,

расчётное время составило 32,953 сек.,

Время счёта составило 98 часов 42 минуты.

Метод расчёта – неявный, алгоритм «удаление мелких частиц» был отключён, CFL=1, ограничение по максимальному шагу итерации 1 секунда.

Результаты расчёта анализировались в постпроцессоре FlowVision. На основе анализа данных файла, созданного по супер-группе тела и слою *Characteristics HydrostaticPressure*, были построены графики нагрузок и перемещений плавающего тела.

Применение Flow Vision

Моделирование плавания объёмного тела.

Результаты расчёта

Далее представлены:

График зависимости сил всплытия (выталкивающей силы) от времени.

График зависимости сил всплытия от времени (увеличен масштаб по оси сил).

График зависимости вертикальных перемещений по времени (перемещения массового центра тяжести).

График изменения угла дифферента (продольные колебания тела) от времени.

График изменения моментов вокруг основных осей (относительно массового центра тяжести) от времени.

Учитывая, что геометрический центр тяжести тела был расположен выше уровня воды 10 мм (0,01 м) тело стало совершать вертикальные затухающие колебания. В результате отклонение от нулевого уровня составило 0, 52 мм.

Применение Flow Vision

Моделирование плавания объёмного тела.

Результаты расчёта

Конечные усреднённые (среднее арифметическое на текущий шаг) **значения** величин составили:

Выталкивающая сила (усредненная) **4.90981** Н ;

Положение центра тяжести тела по вертикали относительно равновесного положения (границей раздела сред) $y = -0,00052$ м

(отсчёт идёт от уровня раздел сред);

Угол дифферента : **0.00991137** градусов.

Теоретическое значение выталкивающей силы $\frac{m_0 g}{2} = \frac{0,5 \cdot 9,81}{2} = 4,905 H$

Равновесное положение тело (в системе координат тела):

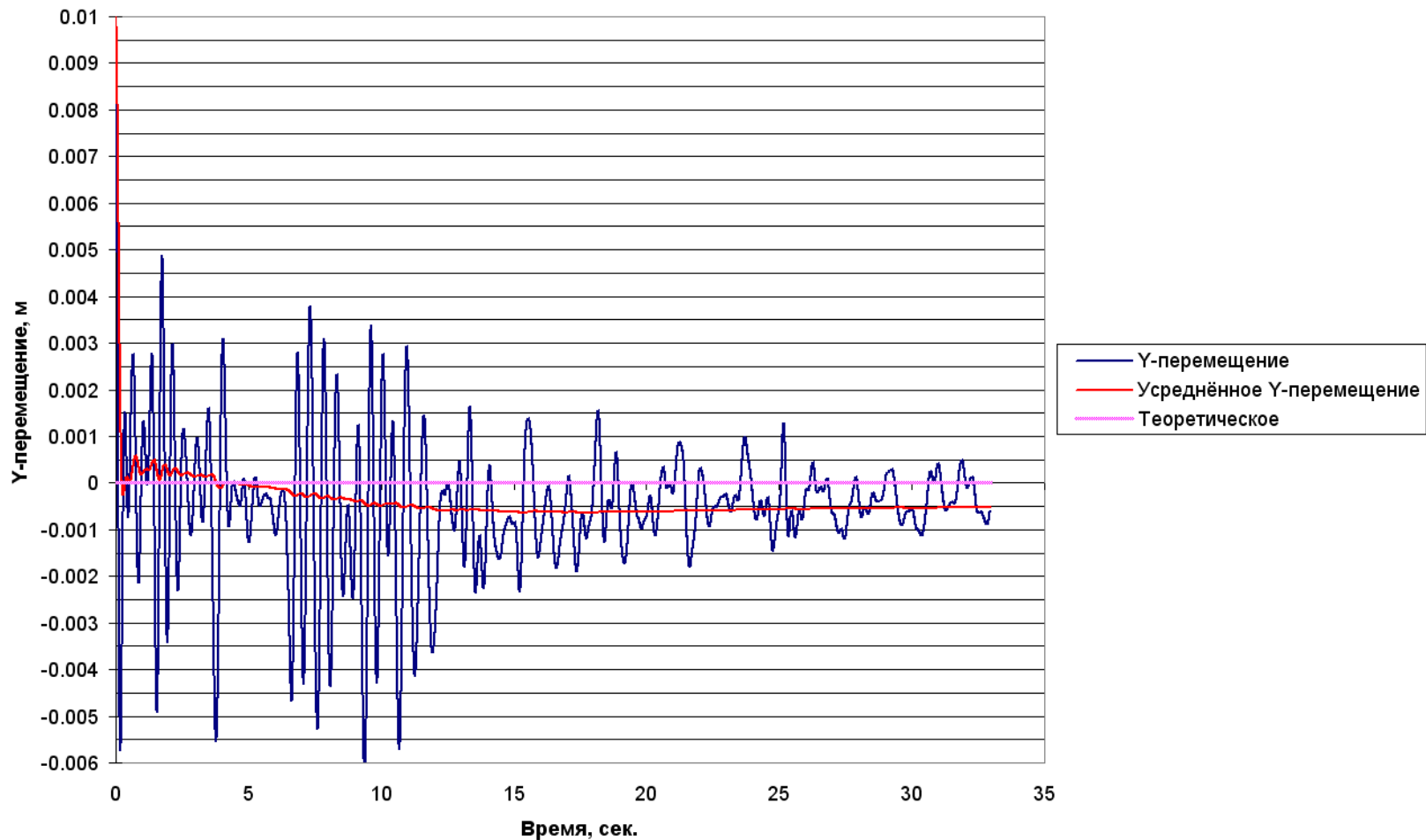
$$y_{\text{Теор}} = \frac{m_{\text{тело}}}{a \cdot c \cdot \rho_{\text{liquid}}} = \frac{0,5}{0,2 \cdot 0,1 \cdot 1000} = 0,0025 \text{ м}$$

т.е. соответствует координате 0 в абсолютной системе координат (относительно расчётной области).

Применение Flow Vision

Моделирование плавания объёмного тела.

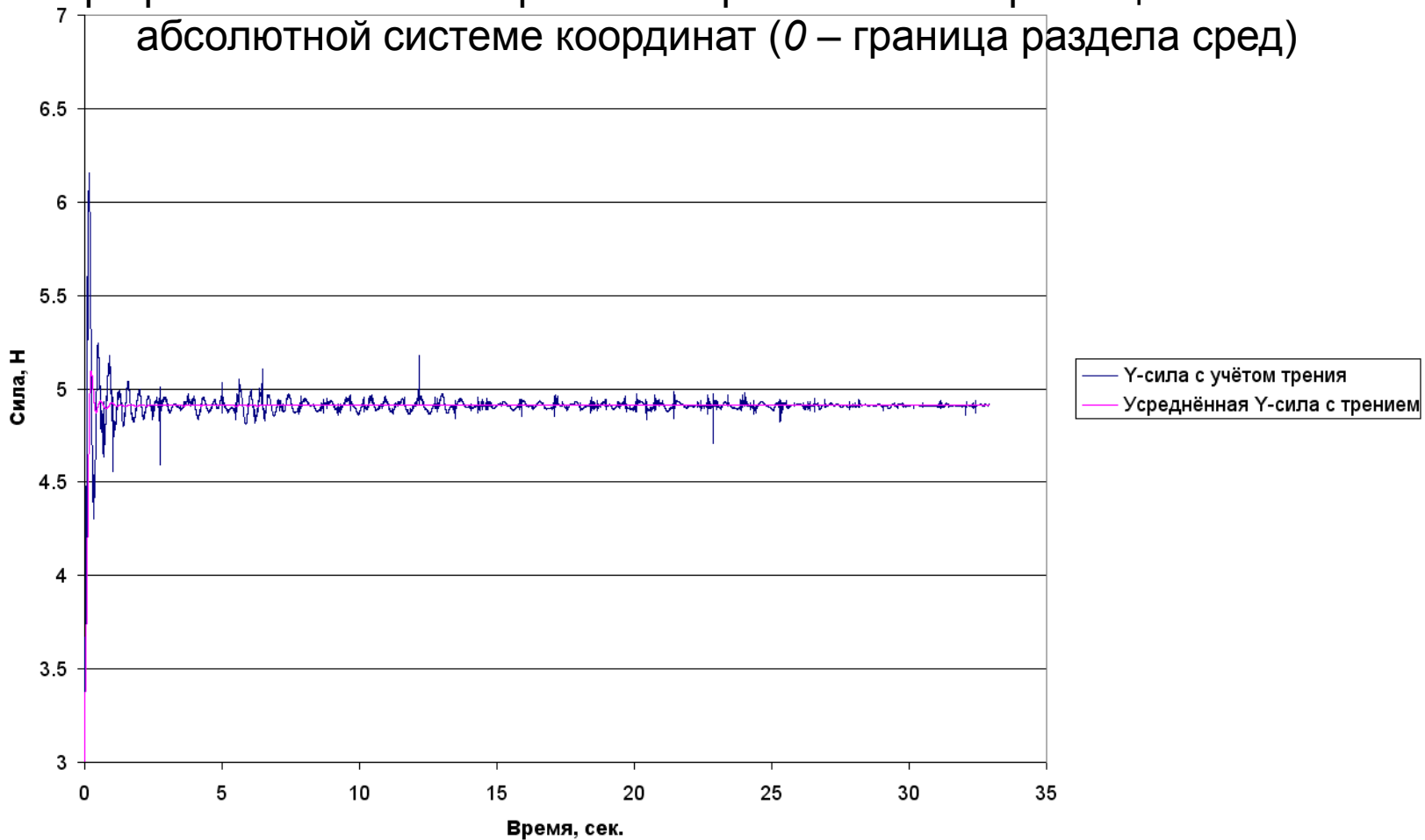
График изменения от времени вертикальных перемещений тела в



Применение Flow Vision

Моделирование плавания объёмного тела.

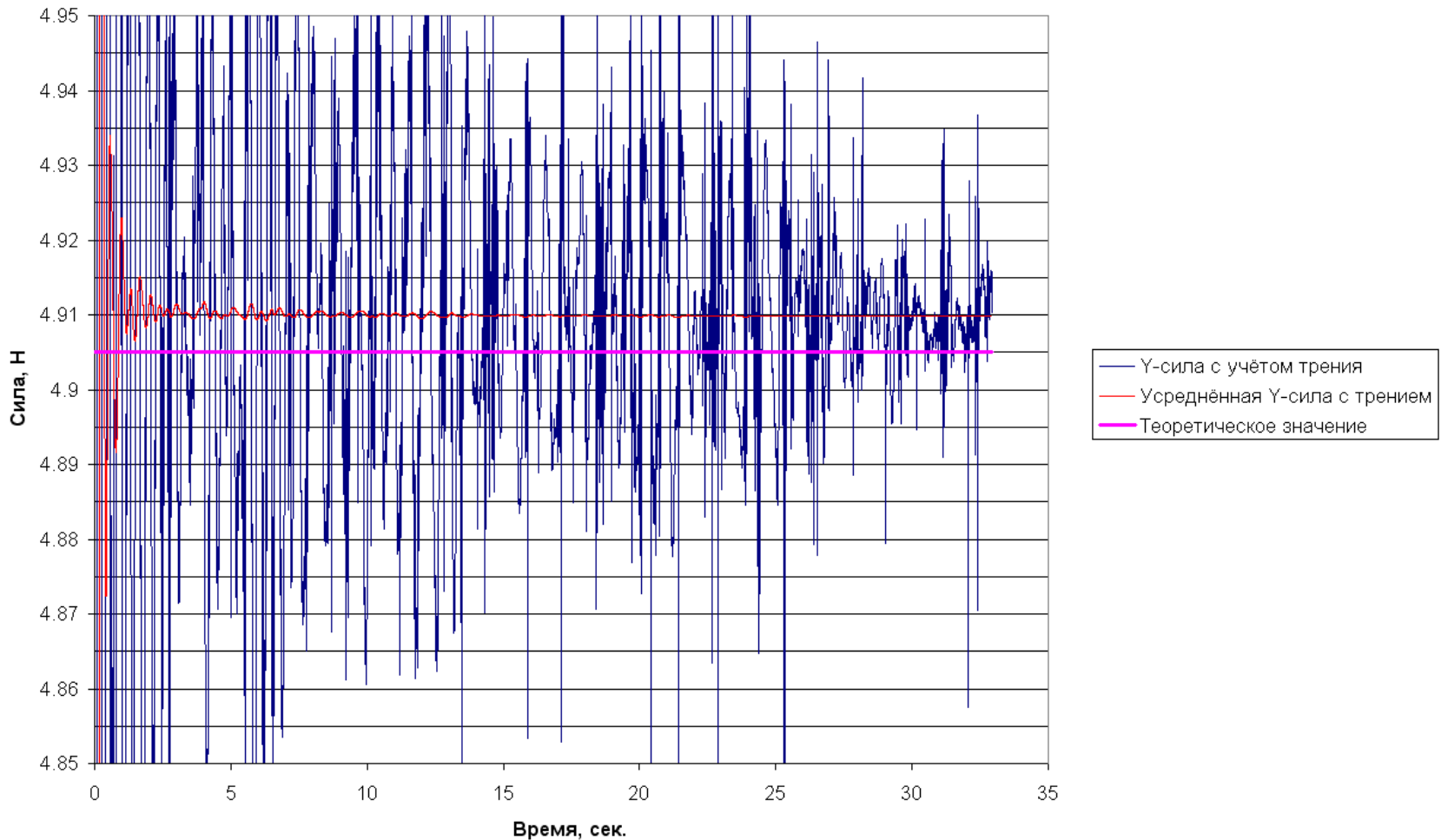
График изменения от времени вертикальных перемещений тела в абсолютной системе координат (0 – граница раздела сред)



Применение Flow Vision

Моделирование плавания объёмного тела.

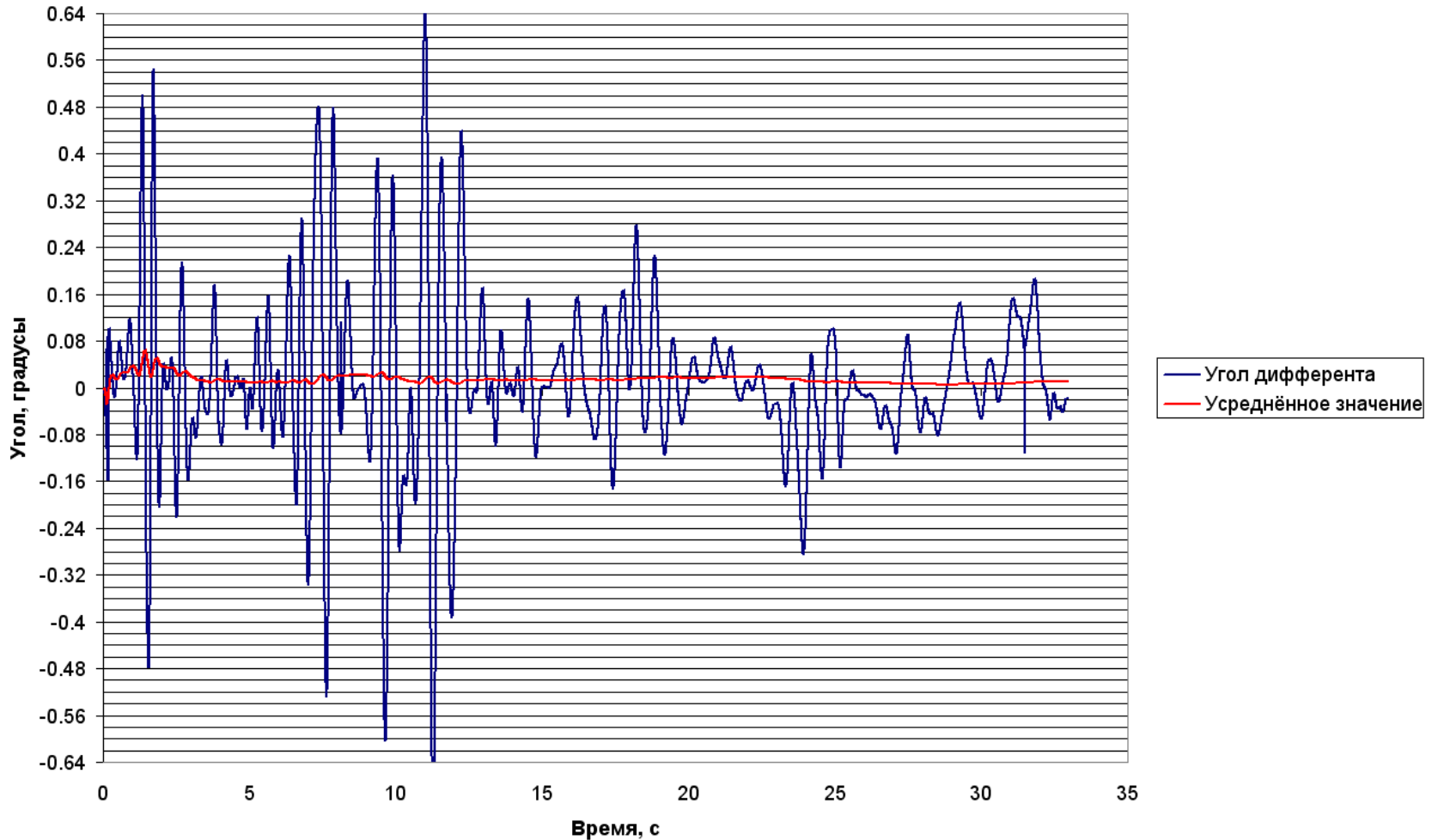
График изменения от времени вертикальных перемещений тела в абсолютной системе координат (увеличен масштаб)



Применение Flow Vision

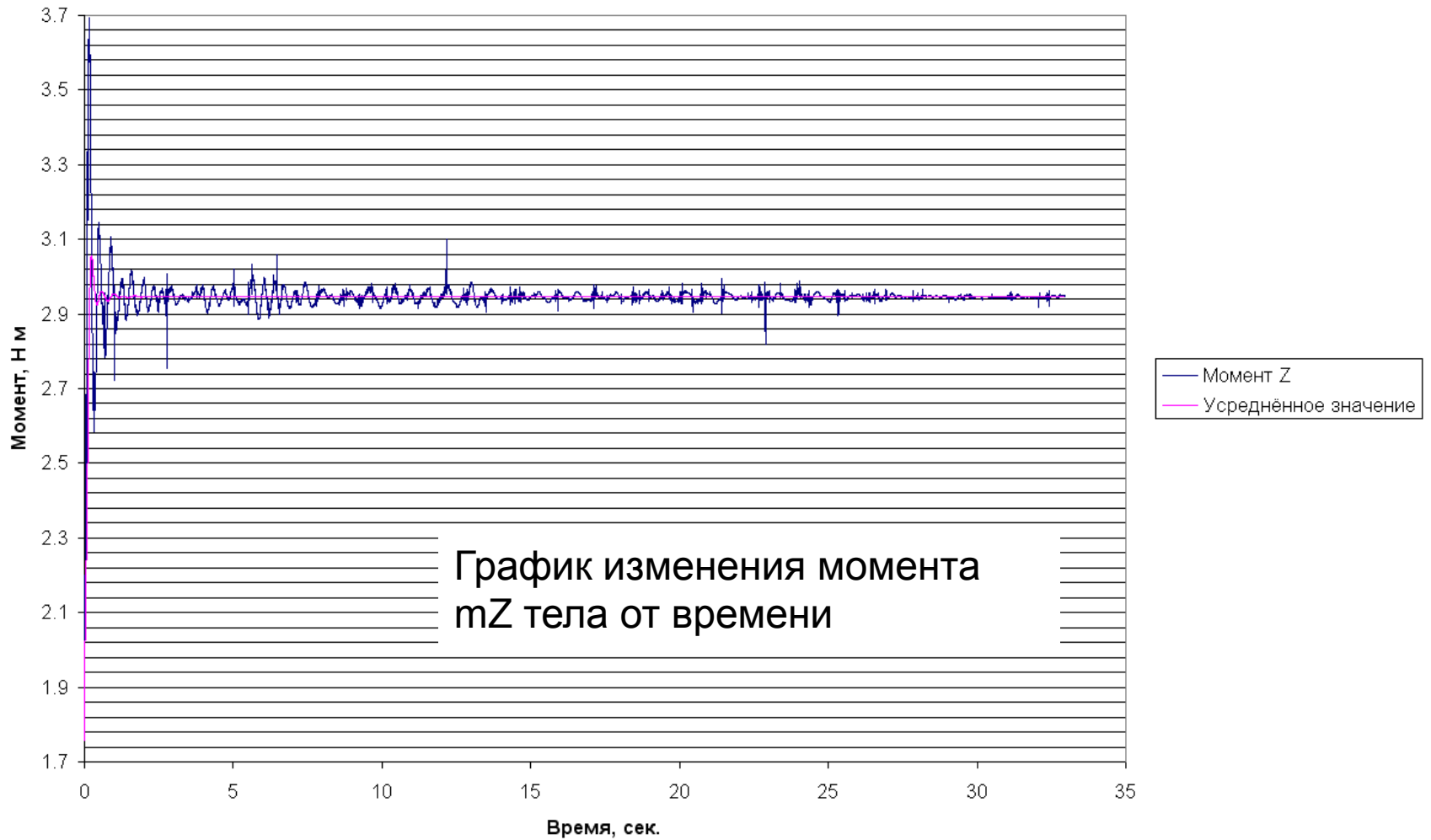
Моделирование плавания объёмного тела.

График изменения от времени угла дифферента (точка вращения - ц.т. тела)



Применение Flow Vision

Моделирование плавания объёмного тела.



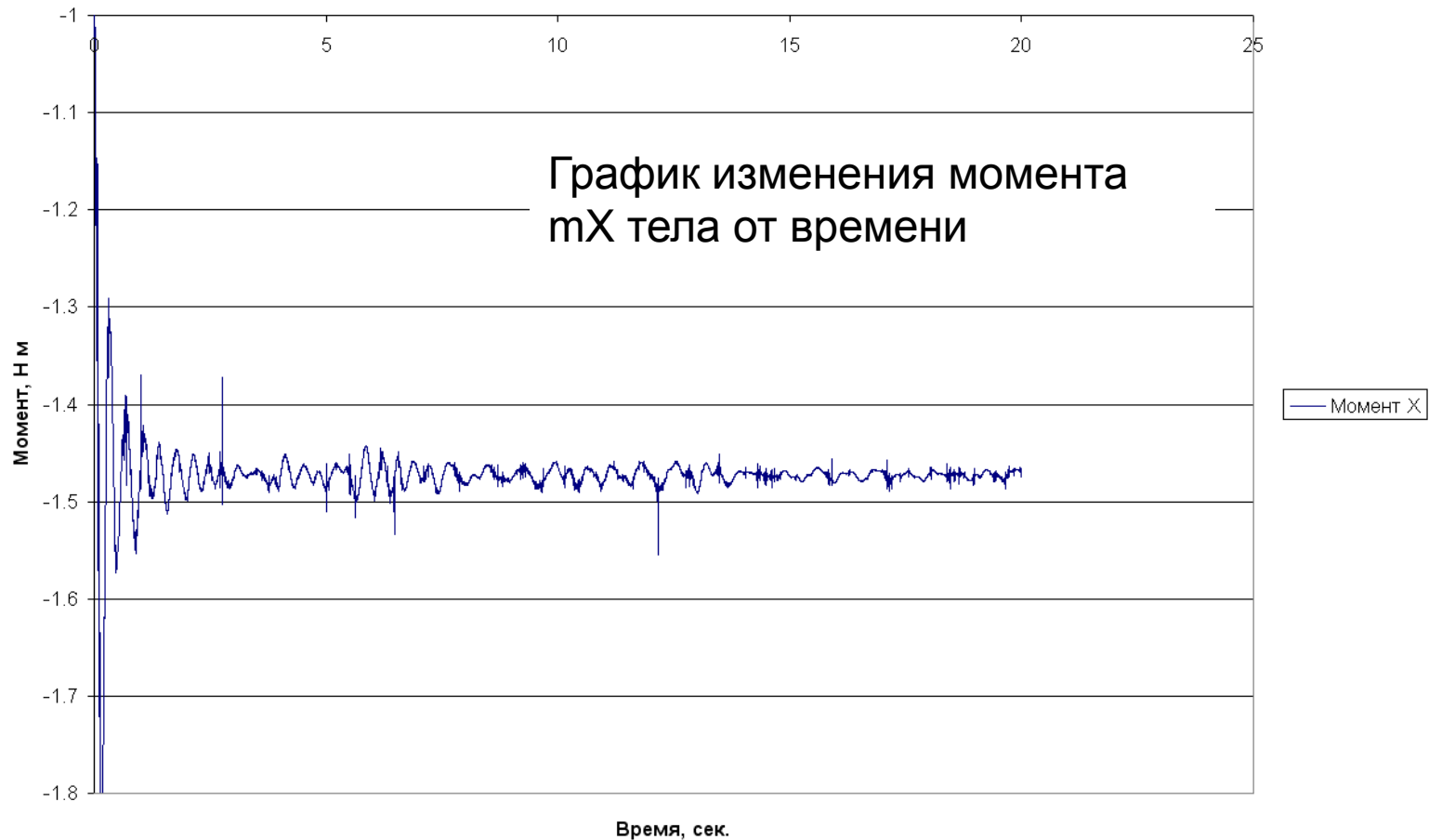
Применение Flow Vision

Моделирование плавания объёмного тела.



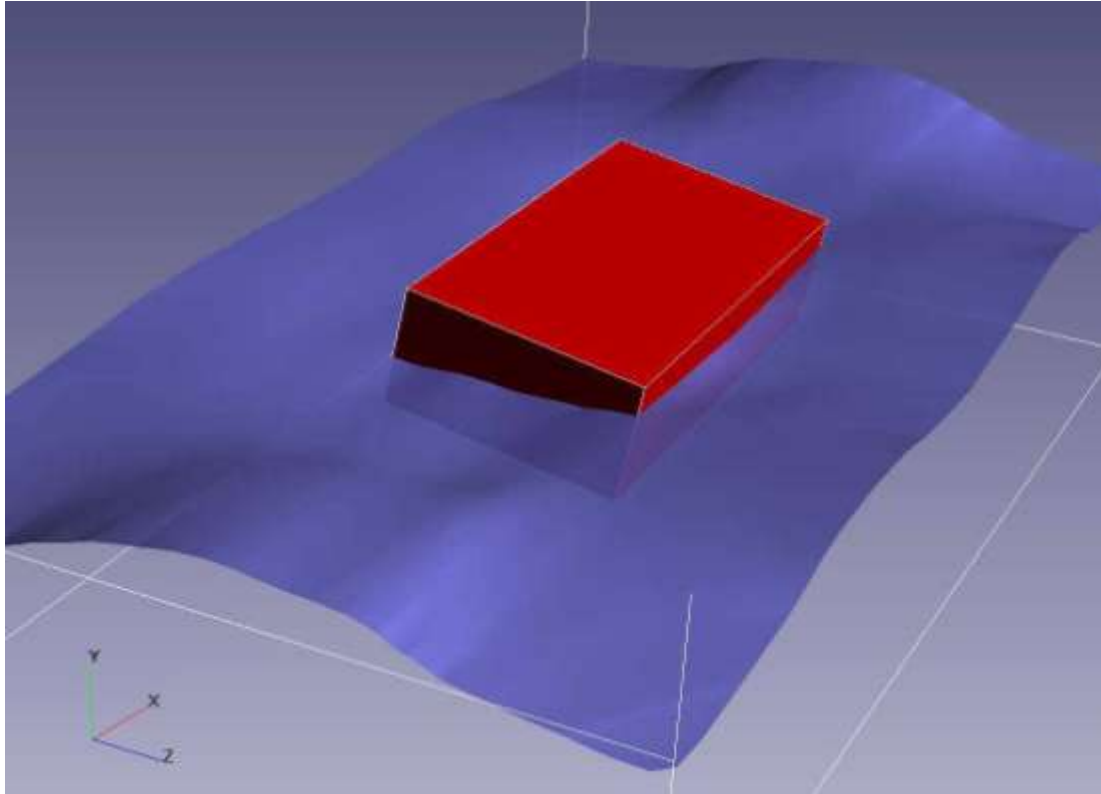
Применение Flow Vision

Моделирование плавания объёмного тела.



Применение Flow Vision

Моделирование плавания объёмного тела.



На рисунке приведена взволнованная поверхность жидкости – это модификация описываемого эксперимента, когда тело совершает значительные колебания.

Применение Flow Vision

Моделирование плавания объёмного тела.

Выводы:

- Как видно из графиков результатов, отклонения от теоретических значений невелики. На момент прекращения эксперимента тело продолжает колебаться – причиной этому может служить близость стенок бассейна.
- Полученные значения величин выталкивающей силы, угла дифферента, глубины погружения тела удовлетворяют аналитическим значениям для условий данного эксперимента. Таким образом, на примере данного численного эксперимента подтверждается возможность использования вычислительного комплекса FlowVision для гидростатического расчёта. А в ходе проведения описываемого численного моделирования определена и отработана методика постановки таких экспериментов. .

Применение Flow Vision

Моделирование процесса установления уровня жидкости в баке с переборкой.

Моделирование процесса установления уровня жидкости в баке с переборкой.

Постановка эксперимента:

Бак моделировался внутри расчётной области как подвижный фильтр, в начальном положении бак повернут на угол 5° .

Объём жидкости внутри бака задавался как фильтр значения VOF .

Модель:

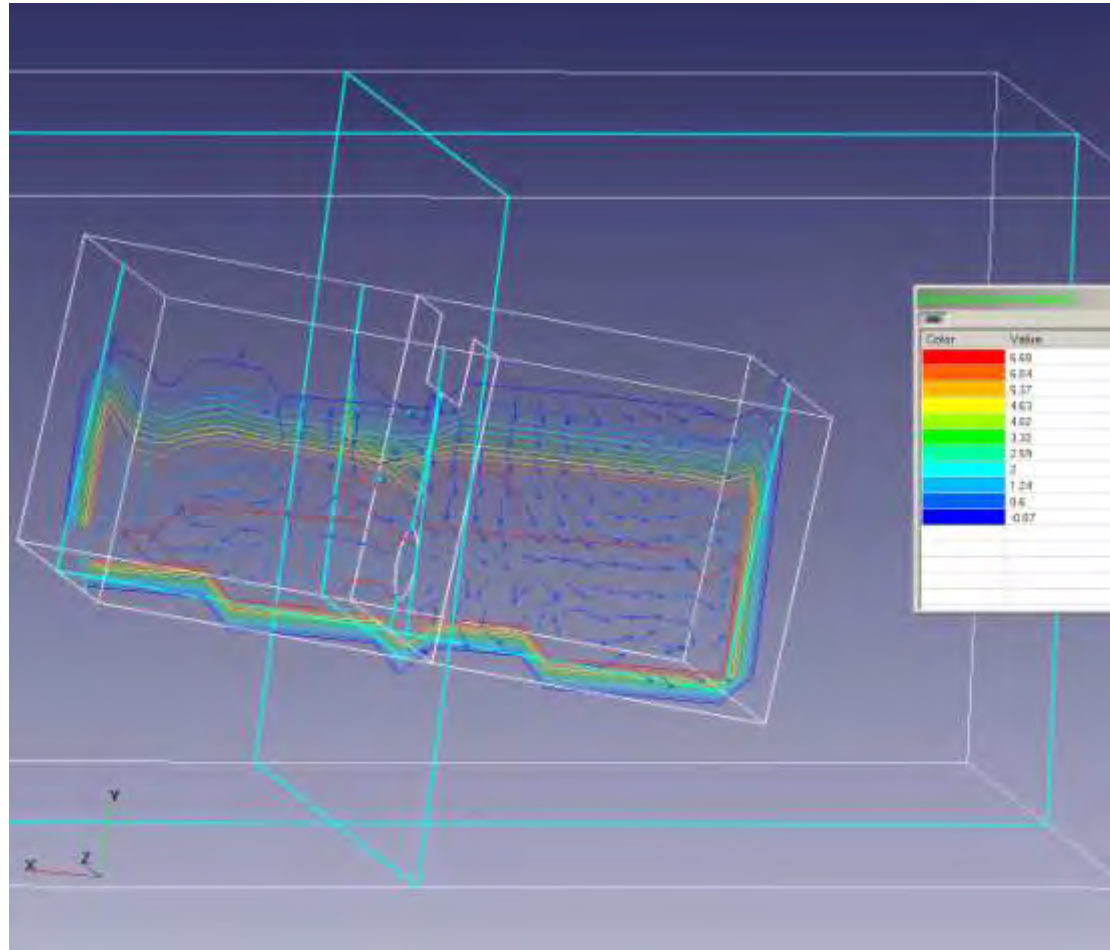
Расчётная модель - Сводная поверхность, включая уравнение Навье-Стокса, k-ε модель турбулентности, уравнение переноса функции заполнения VOF .

Размеры бака 8x5x5 м (XYZ), объём бака 200 м³, объём жидкости 98 м³ .

Число расчётных ячеек 59333 шт.

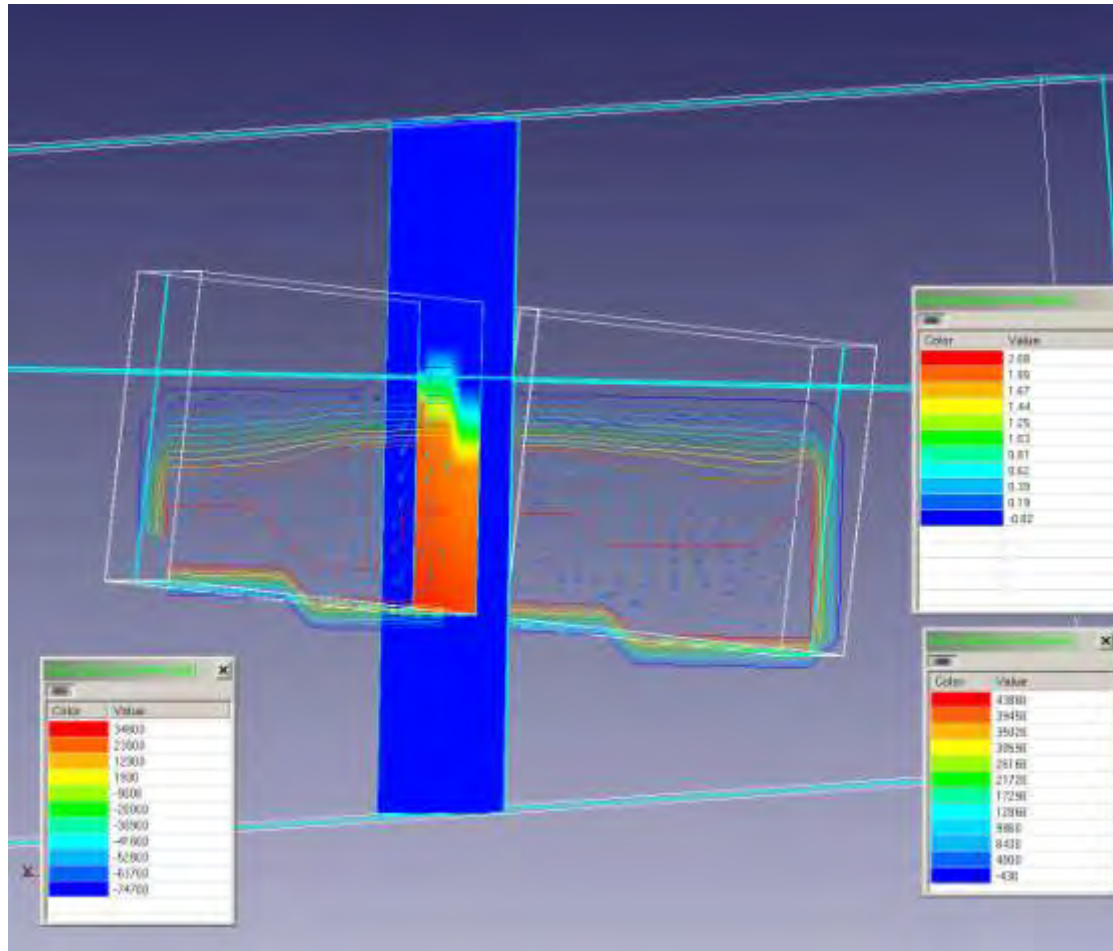
Применение Flow Vision

Моделирование процесса установления уровня жидкости в баке с переборкой.



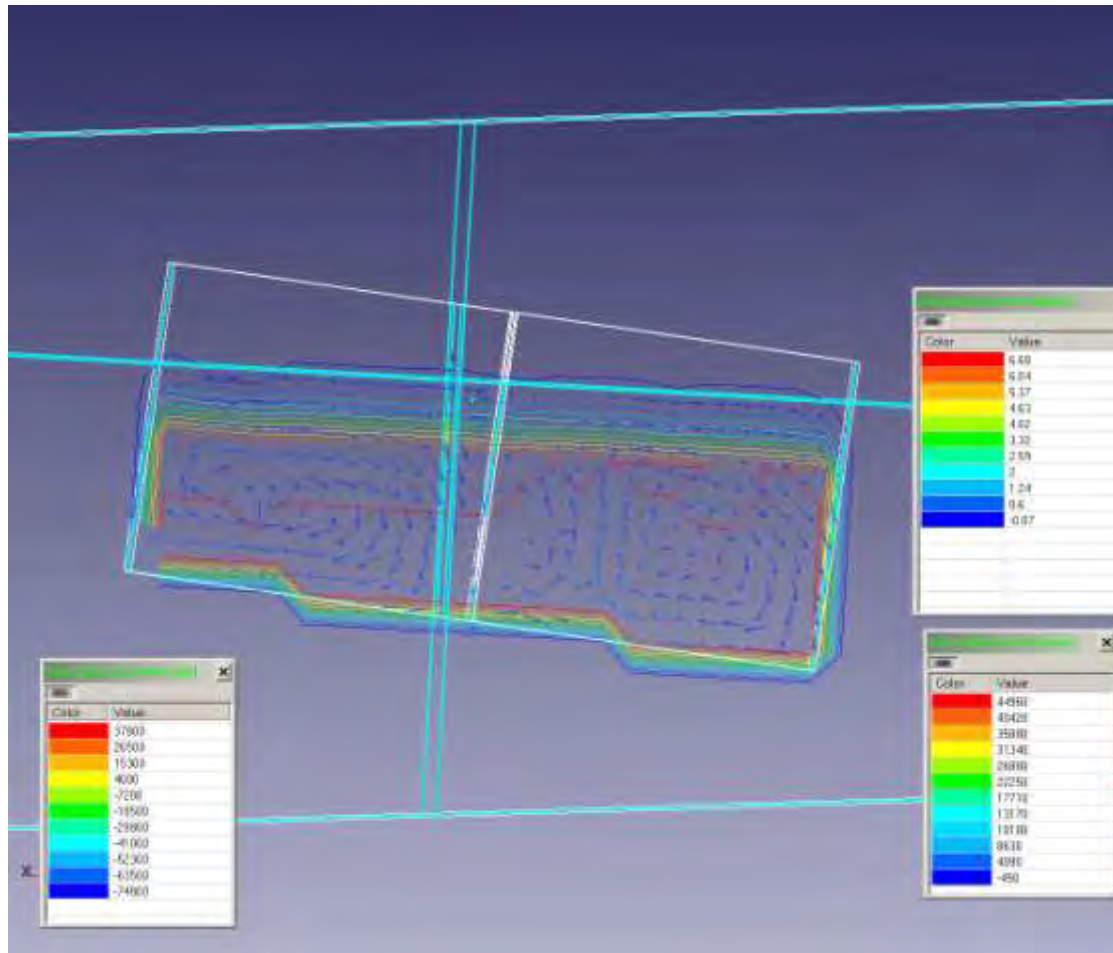
Применение Flow Vision

Моделирование процесса установления уровня жидкости в баке с переборкой.



Применение Flow Vision

Моделирование процесса установления уровня жидкости в баке с переборкой.



Применение Flow Vision

Моделирование обтекания плоскокилеватого днища.

Моделирование обтекания плоскокилеватого днища.

Для отработки методики проведения численного гидродинамического эксперимента, в среде комплекса FlowVision моделировалось обтекание плоскокилеватого днища со скоростью 8 м/с без учёта набегающего потока воздуха при фиксированных угле дифферента и глубине погружения модели. Воспроизводилось глссирование на неполной ширине.

Характерные размеры построенной модели:

длина 2200мм, килеватость 30°, ширина транца 600 мм, высота 250

Размеры расчётной области 7,2 x 1,6 x 2,4 м, глубина канала составляет 0,8 м .

Масса днища в эксперименте составляла 21 кг, модель имела свободу вертикальных угловых и линейных перемещений.

Применение Flow Vision

Моделирование обтекания плоскокилеватого днища.

Для расчёта использовалась математическая модель **Free Surface** (Свободная поверхность), с уравнениями Навье-Стокса, турбуленции и уравнение переноса функции заполнения VOF.

Плоскокилеватое днище моделировалось с помощью фильтра «подвижное тело» с заданной массой, моментами инерции и начальным положением (угол дифферента, глубина погружения).

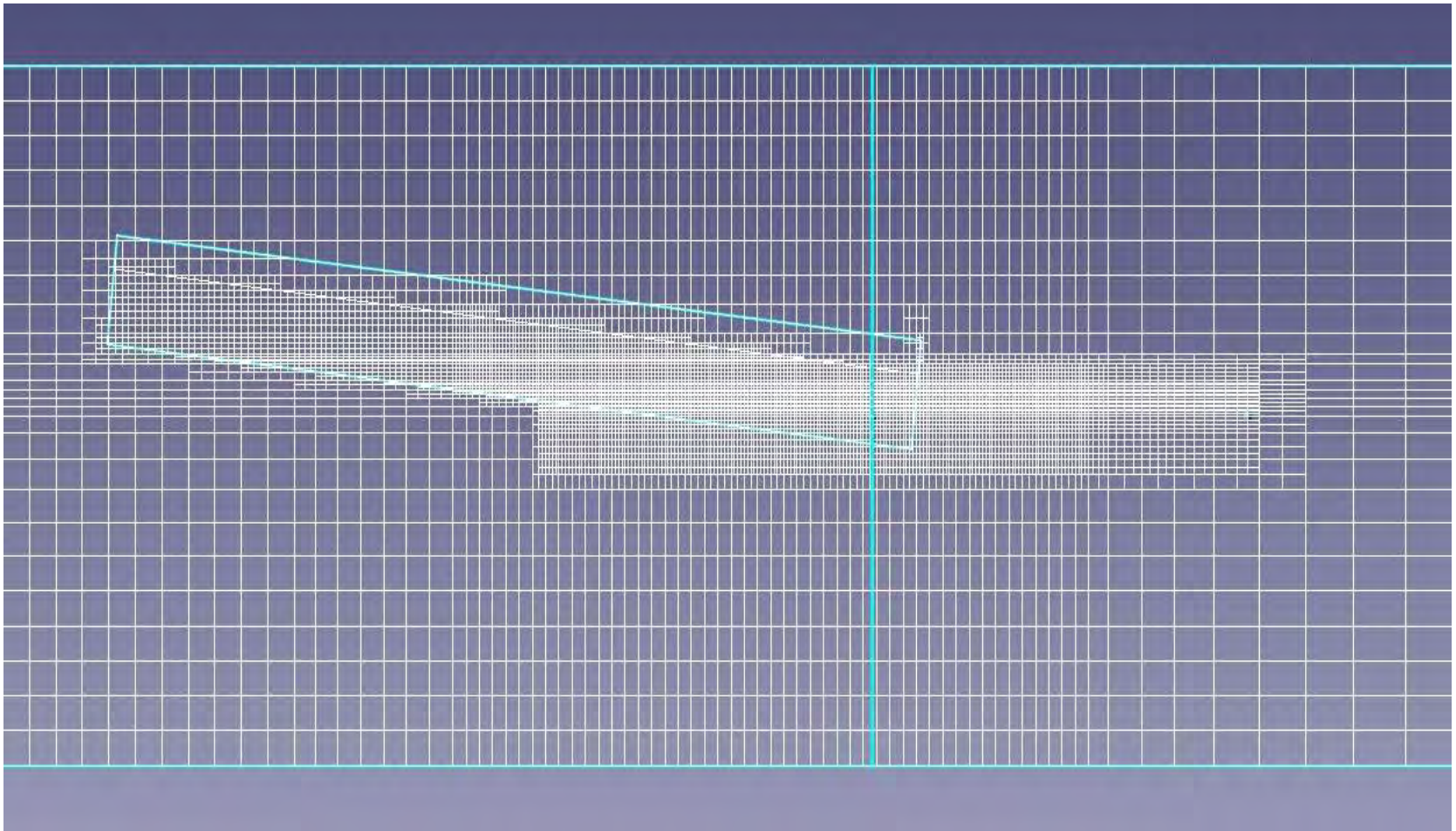
Расчётная сетка начального уровня имеет размерность: 151x26x33, сетка адаптировалась до 2-го уровня в зонах треугольника глиссирования и следа, а также по днищу и транцу. В результате расчётная сетка составила 522291 ячеек, из них расчётных (calculation cells) 458623.

Расчёт выполнялся на ПК с процессором Pentium 1500 МГц с RAM=1Гб и Pentium 2800 МГц с RAM=2Гб (последовательно), операционная система WindowsXP SP1 .

Далее представлен ряд результатов данного моделирования.

Применение Flow Vision

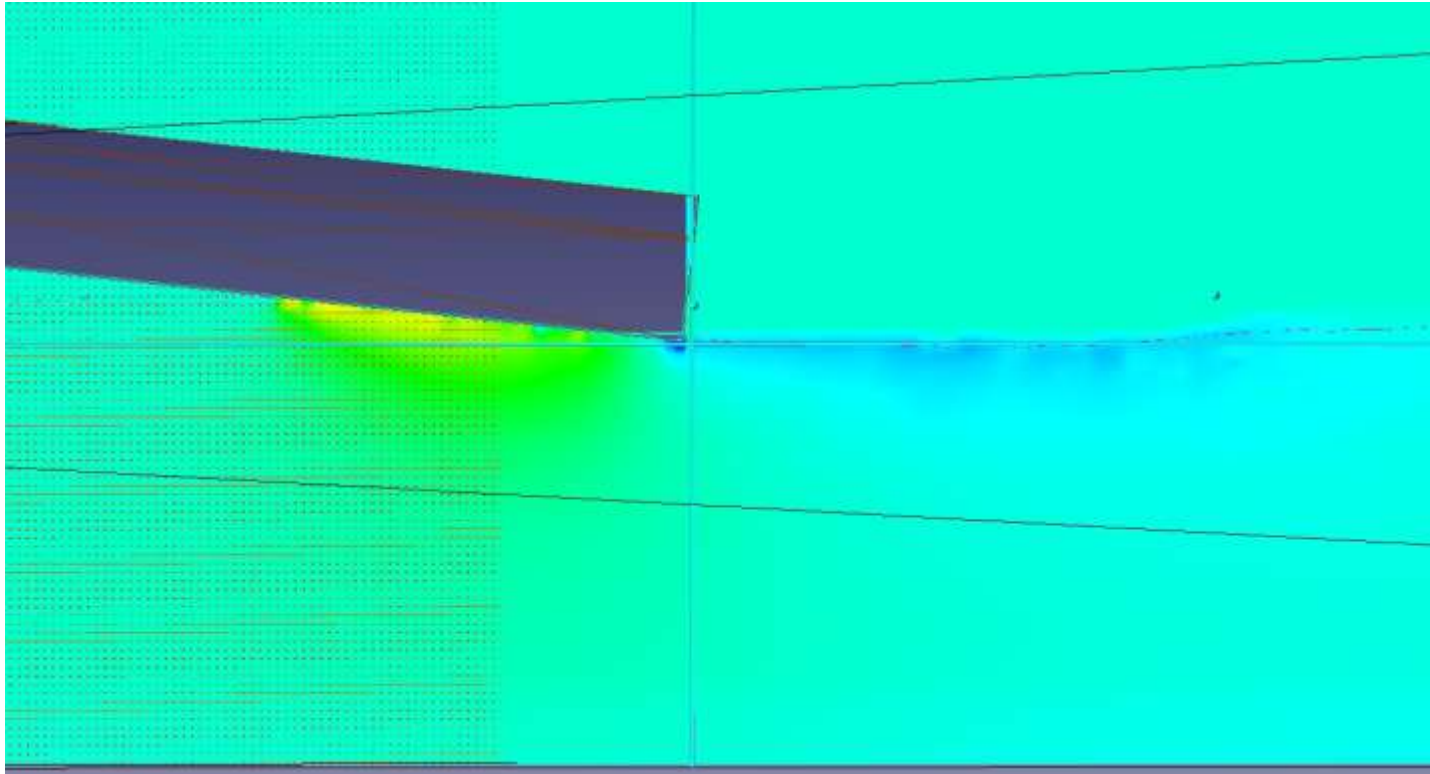
Моделирование обтекания плоскокилеватого днища.



Расчётная сетка эксперимента

Применение Flow Vision

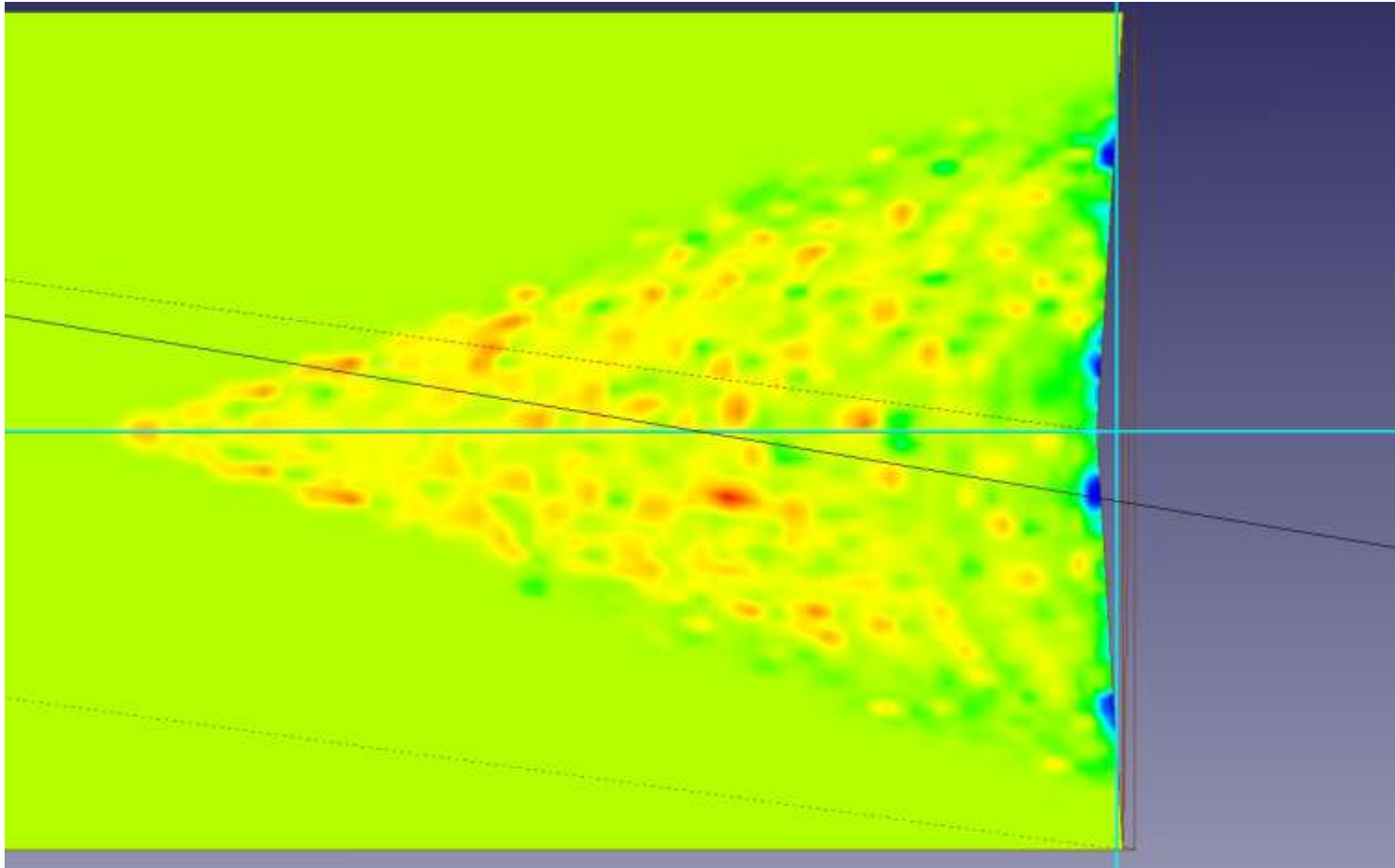
Моделирование обтекания плоскокилеватого днища.



Распределение давлений в продольном сечении, вокруг днища

Применение Flow Vision

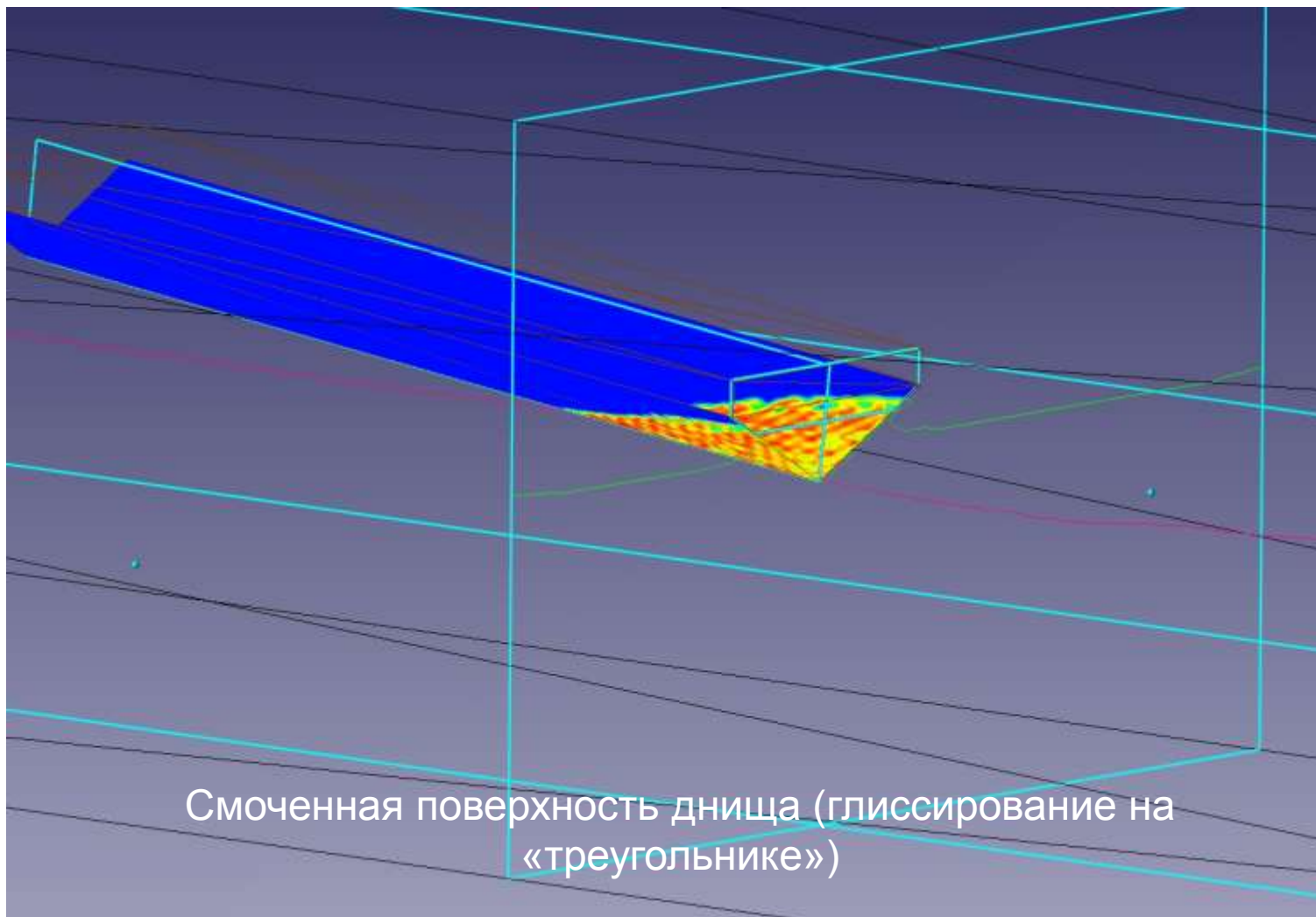
Моделирование обтекания плоскокилеватого днища.



Распределение давлений по днищу

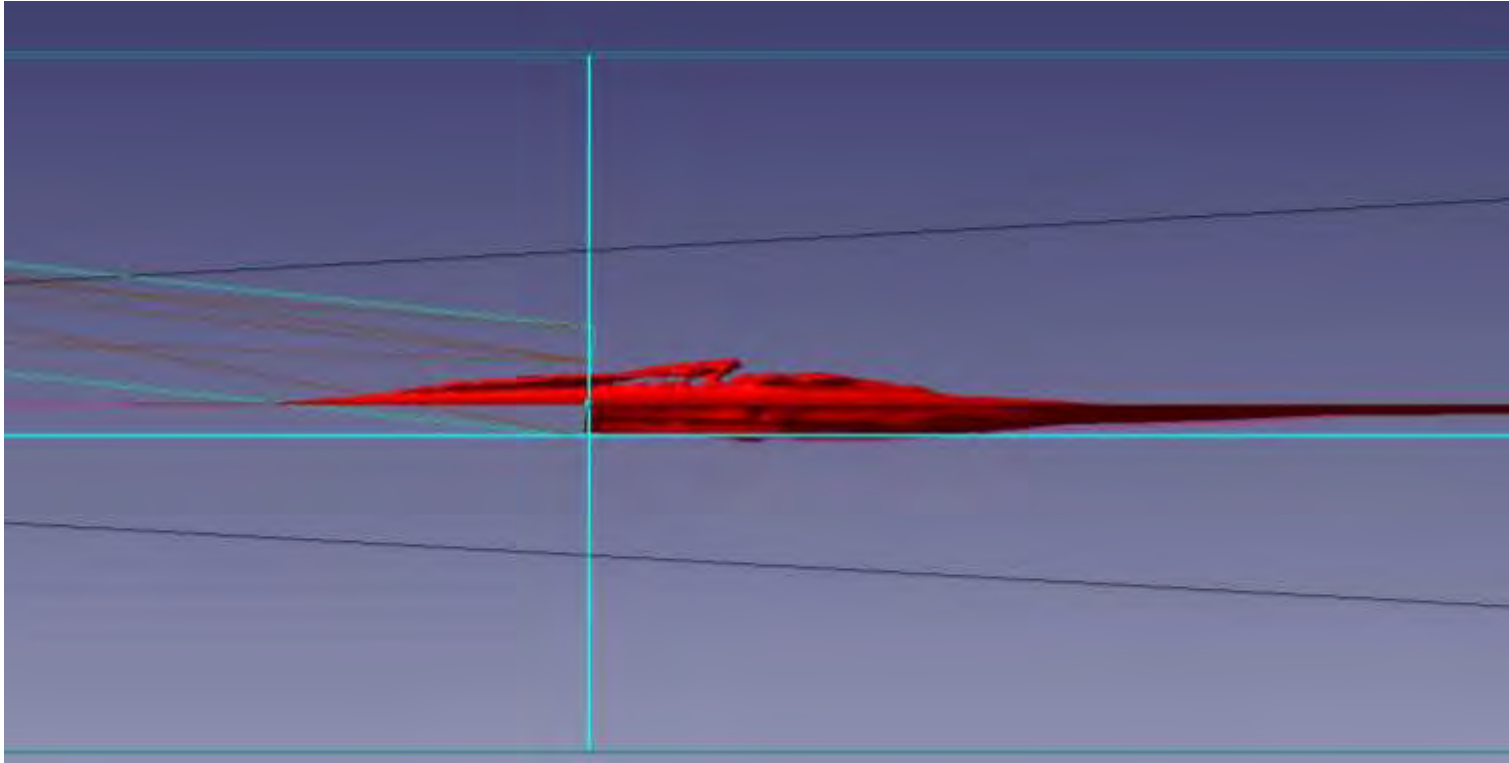
Применение Flow Vision

Моделирование обтекания плоскокилеватого днища.



Применение Flow Vision

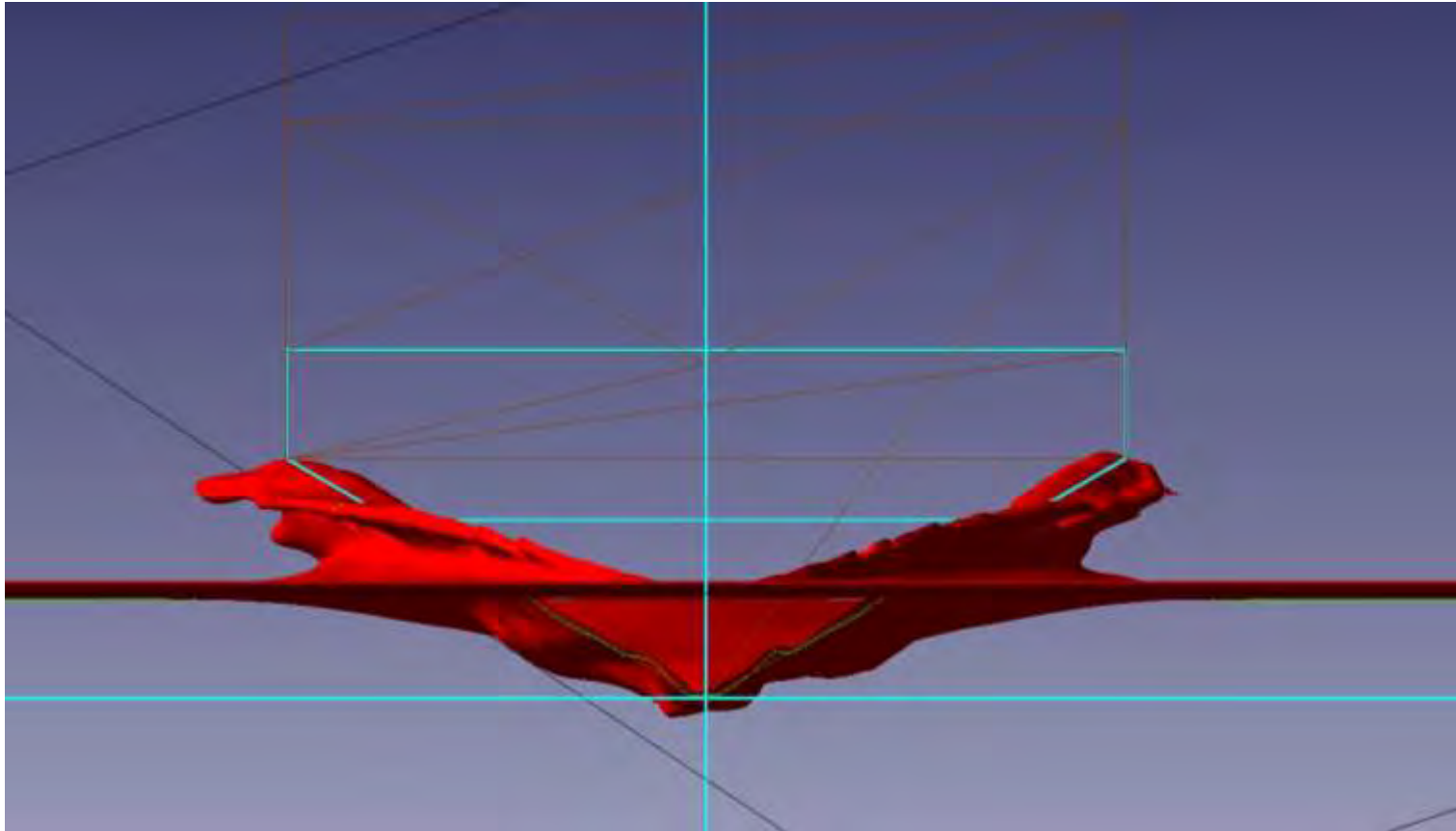
Моделирование обтекания плоскокилеватого днища.



Визуализация свободной поверхности (функция VOF)

Применение Flow Vision

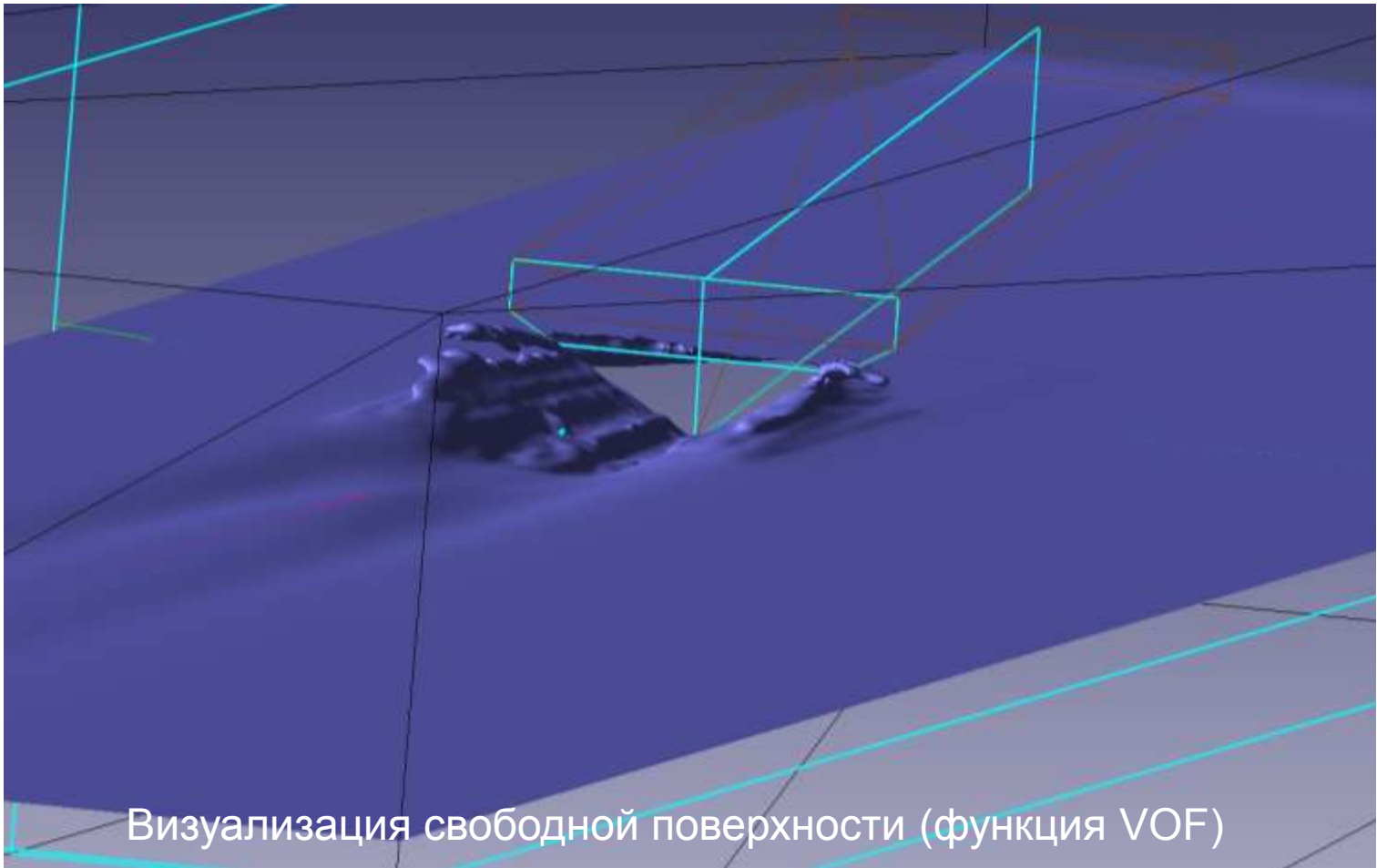
Моделирование обтекания плоскокилеватого днища.



Визуализация свободной поверхности (функция VOF)

Применение Flow Vision

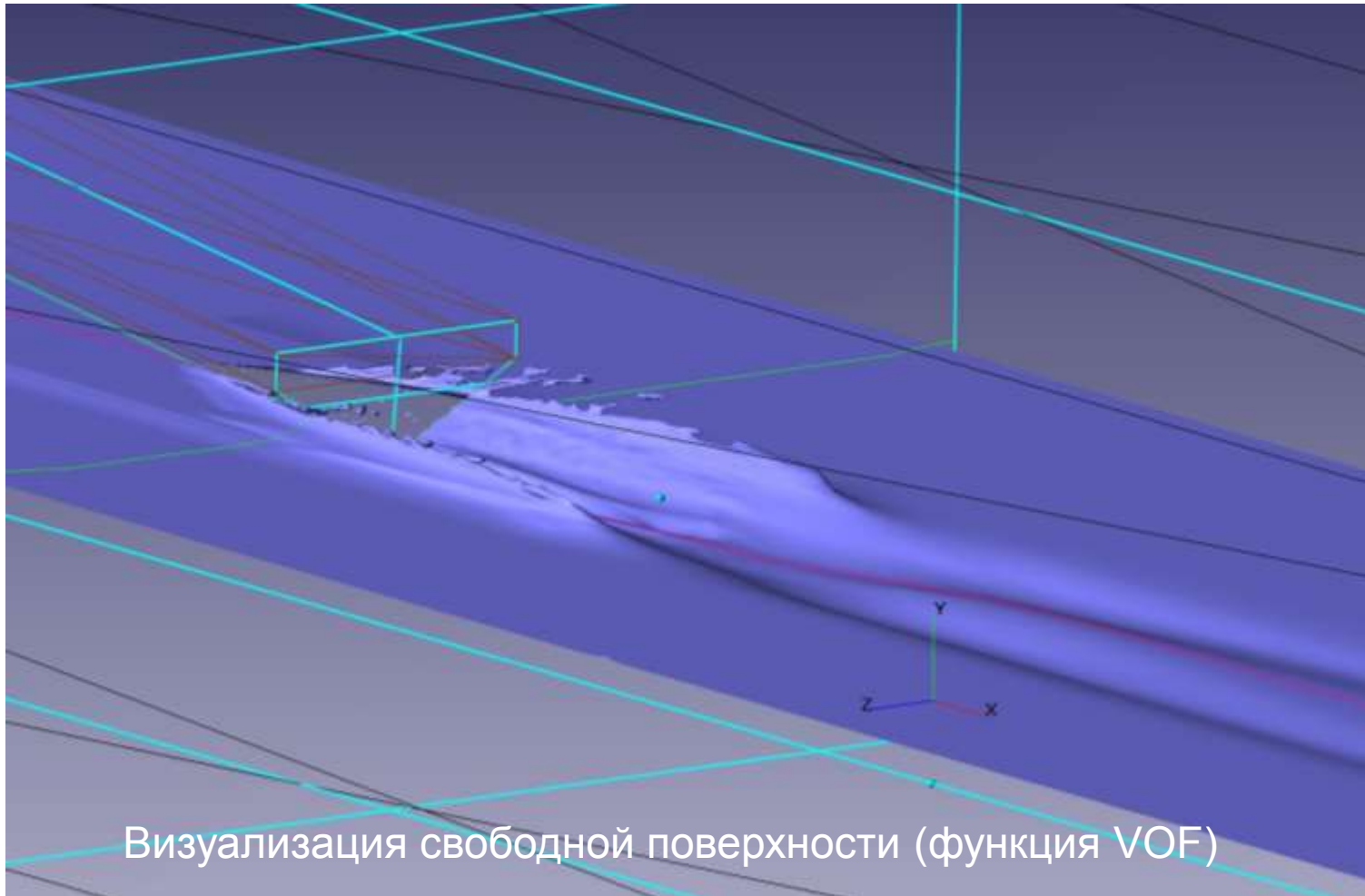
Моделирование обтекания плоскокилеватого днища.



Визуализация свободной поверхности (функция VOF)

Применение Flow Vision

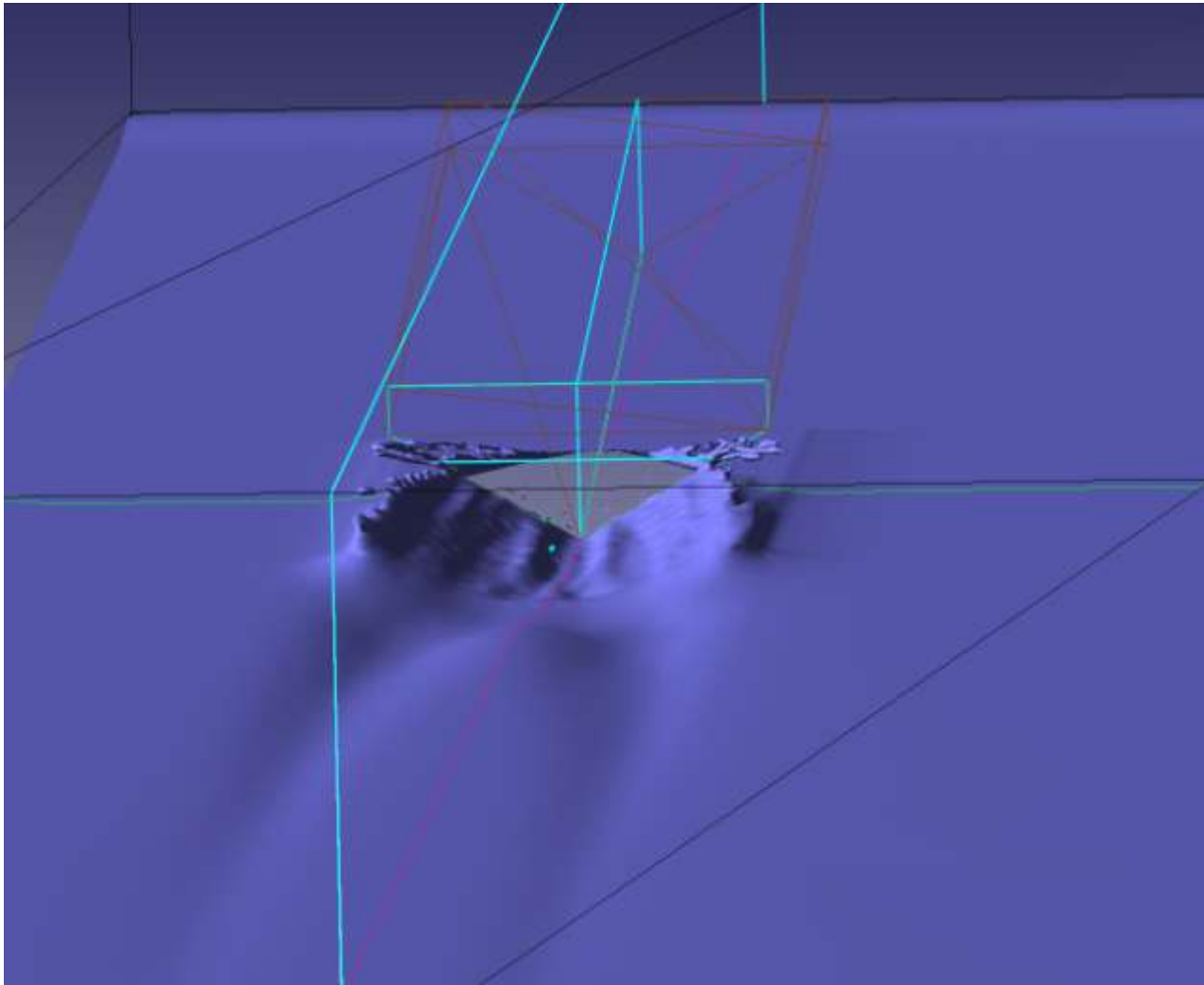
Моделирование обтекания плоскокилеватого днища.



Визуализация свободной поверхности (функция VOF)

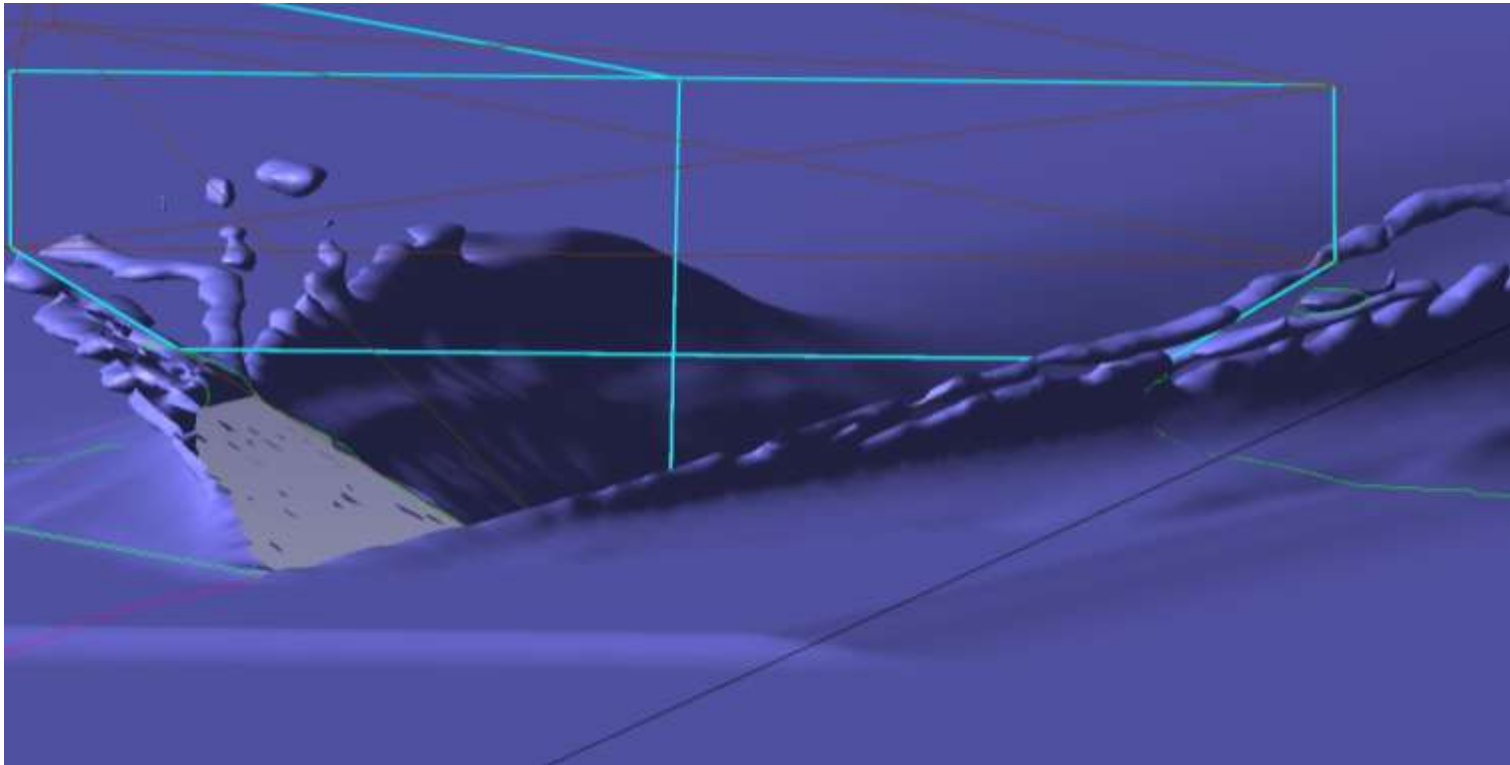
Применение Flow Vision

Моделирование обтекание плоскокилеватого днища.



Применение Flow Vision

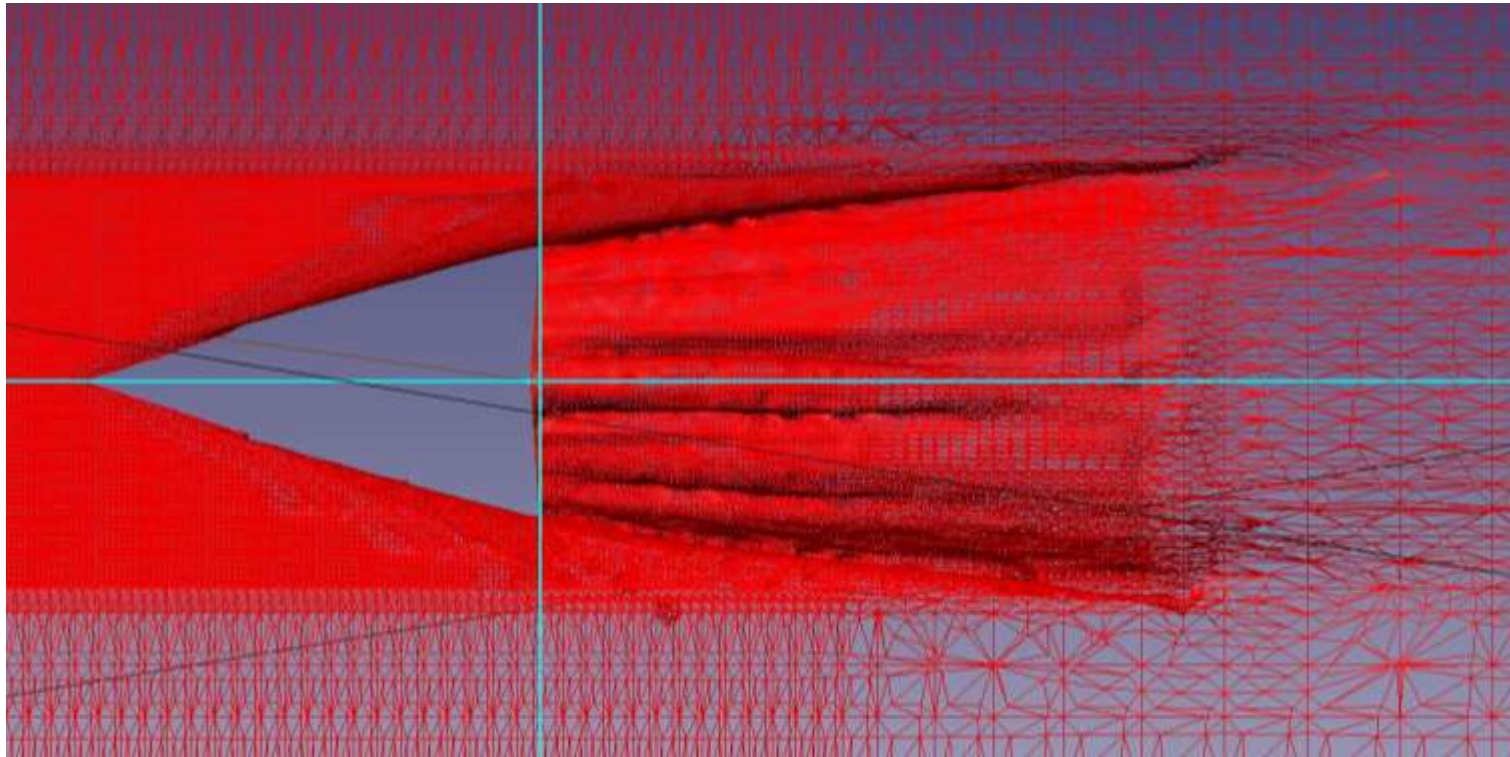
Моделирование обтекания плоскокилеватого днища.



Визуализация свободной поверхности (функция VOF)

Применение Flow Vision

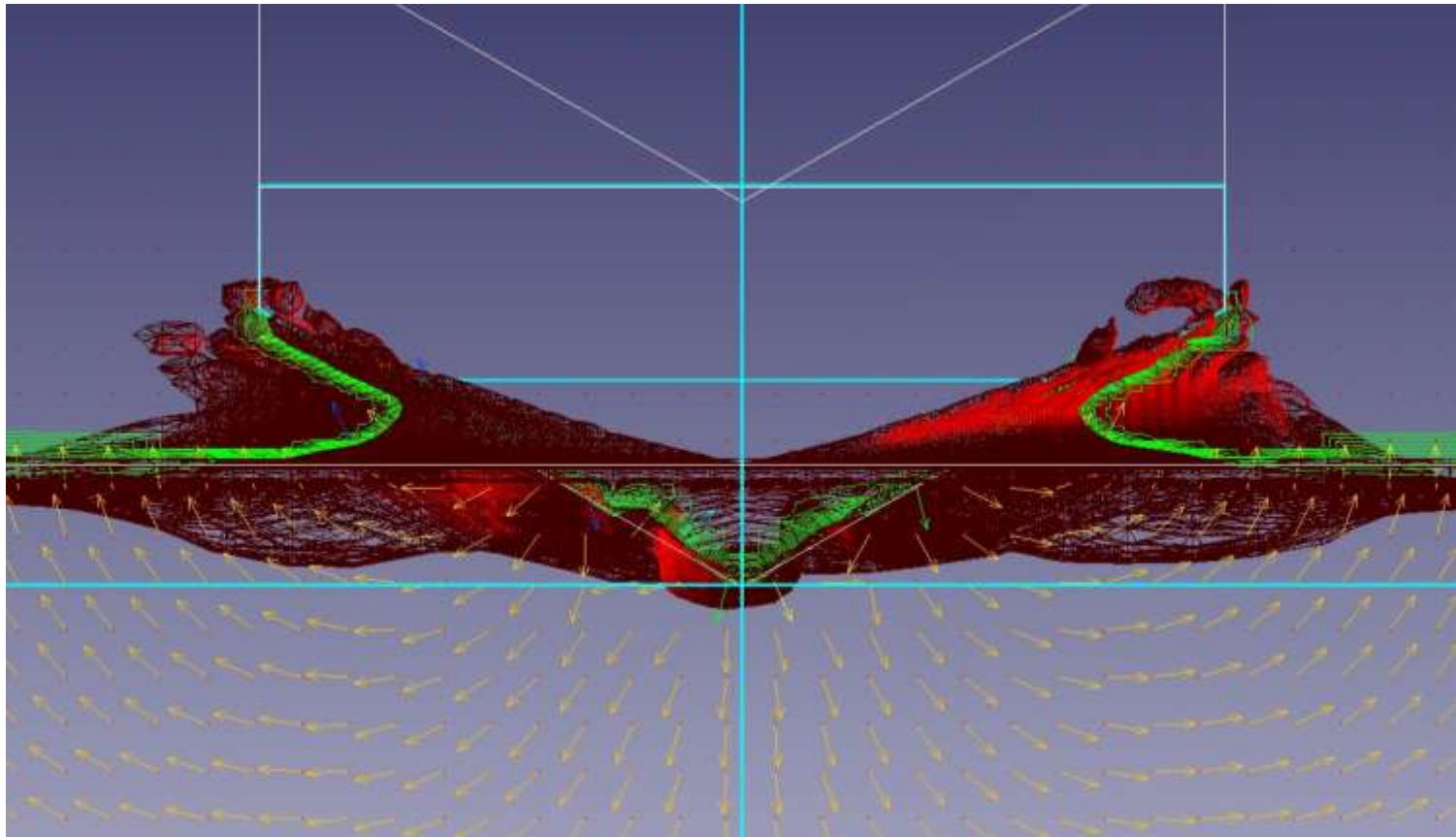
Моделирование обтекания плоскокилеватого днища.



Визуализация свободной поверхности (функция VOF)

Применение Flow Vision

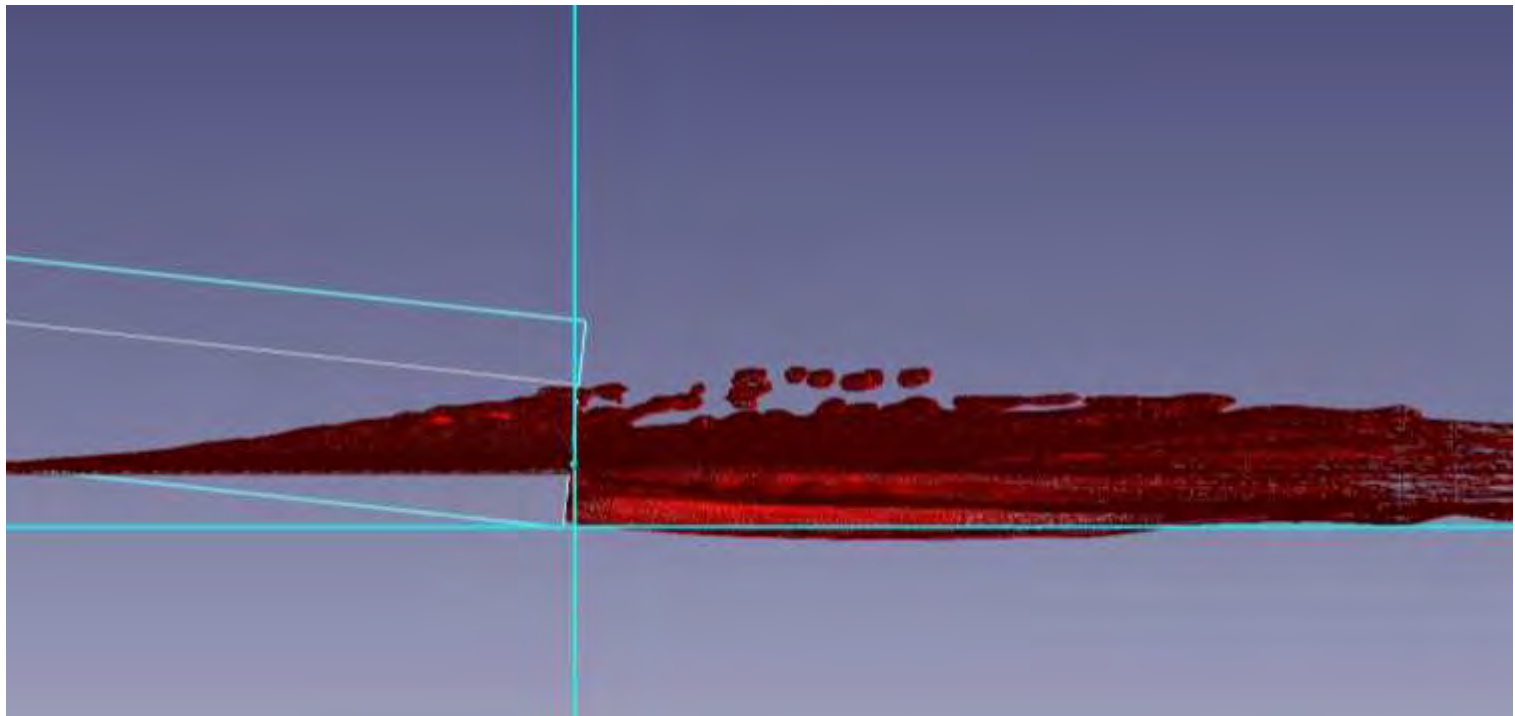
Моделирование обтекания плоскокилеватого днища.



Визуализация свободной поверхности (функция VOF), векторы скорости.

Применение Flow Vision

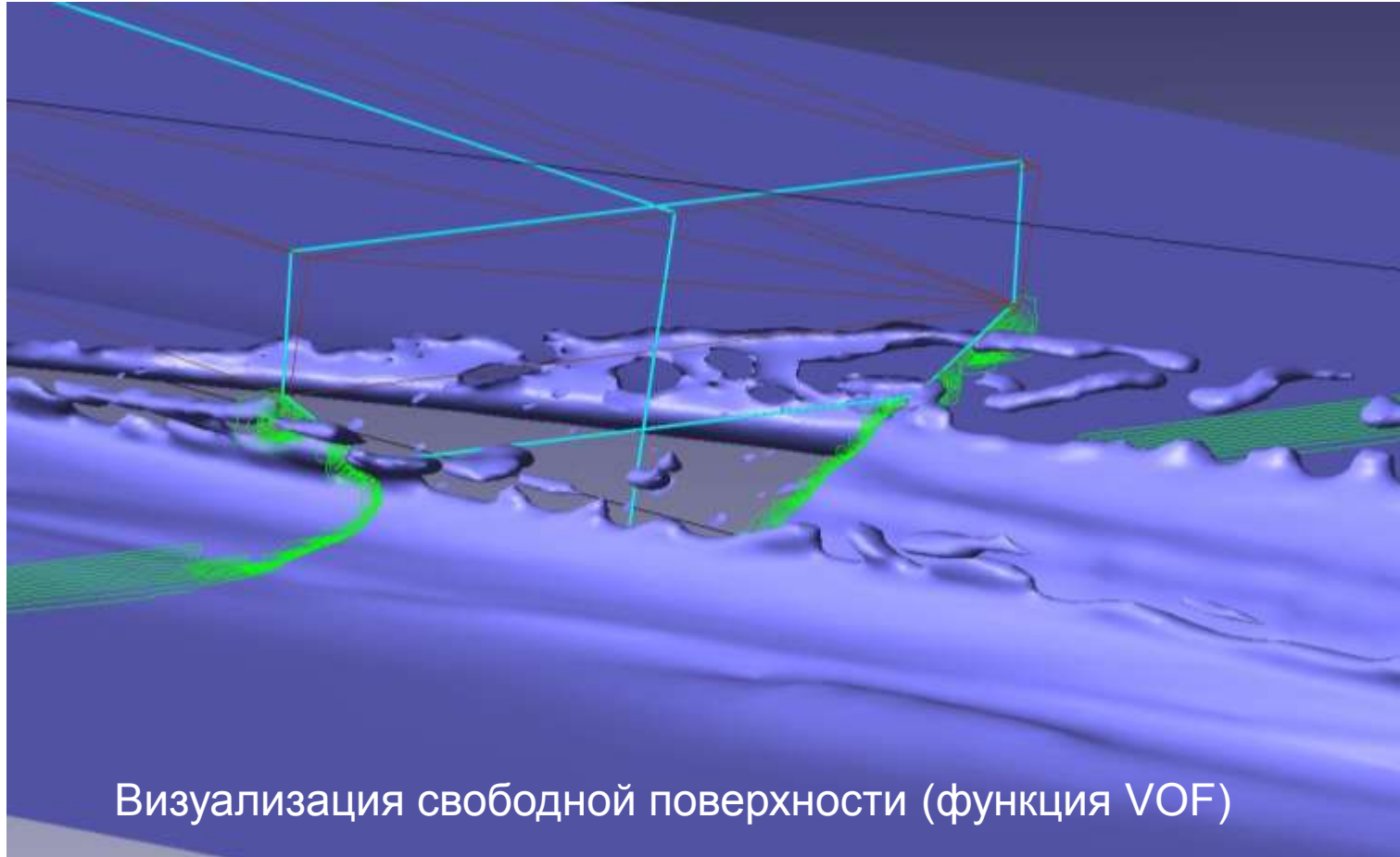
Моделирование обтекания плоскокилеватого днища.



Визуализация свободной поверхности (функция VOF)

Применение Flow Vision

Моделирование обтекания плоскокилеватого днища.



Визуализация свободной поверхности (функция VOF)

Применение Flow Vision

Моделирование сброса жидкости из бака в набегающий воздушный поток.

Сброс жидкости из бака в набегающий воздушный ПОТОК.

Расчётная область представляет собой параллелепипед с цилиндром на верхней грани параллелепипеда. Цилиндром имитируется бак, параллелепипед - свободная область под баком, верхняя грань бака имеет граничное условие непротекания.

Размеры: цилиндр (высота - 5м, диаметр – 3 м, $V = 35,34 \text{ м}^3$), параллелепипед (28x20x20 м). Объём жидкости задавался с помощью фильтра VOF, т.е. задавался первоначальный цилиндрический объём жидкости в баке-цилиндре, геометрические параметры этого водяного столба – диаметр 3м, высота 3м ($V=21,206 \text{ м}^3$)

Далее, под действием силы тяжести (вектор силы тяжести направлен против оси Y, $g=9.81 \text{ м/с}^2$) жидкость выливается из цилиндра в набегающий поток, средняя скорость набегающего воздуха 120 м/с.

Применение Flow Vision

Моделирование сброса жидкости из бака в набегающий воздушный поток.

В расчёте использовалась математическая модель *k-ε турбулентность*, причём жидкость несжимаемая, вязкая, эта модель позволяет моделировать два вещества (в данном эксперименте - вода и воздух).

В данном эксперименте используются («включены») уравнения концентрации, скорости, турбулентности.

Рассчитываются два вещества – воздух (Concentration index = 0), вода (Concentration index = 1), физические параметры веществ взяты из БазыДанных программы.

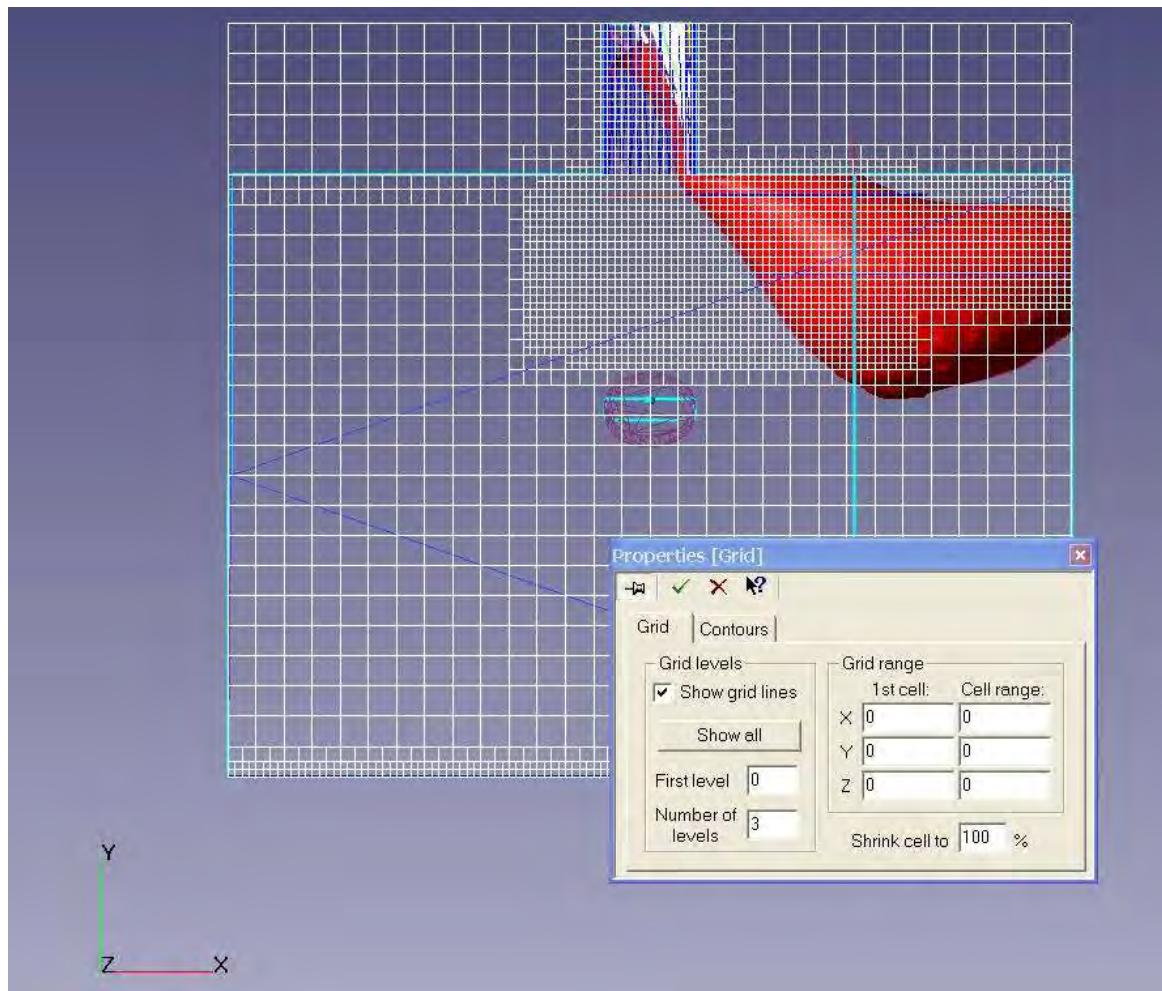
Расчётная сетка составила, после наложения фильтров адаптации по пути распространения жидкости, 535854 ячейки, из них рассчитываемых ячеек 468252 шт., было просчитана 3750 итераций, время задачи (время эксперимента) 0, 734563 секунды; время счёта на ПК Pentium4 1500 МГц, ОП 1 Гб составило 21 час.

Жидкость имела физические свойства воды (вязкость, плотность), не учитывались сжимаемость и поверхностное натяжение.

Движение воздуха моделировалось заданием скорости на входе (граничное условие inlet), 70 м/с.

Применение Flow Vision

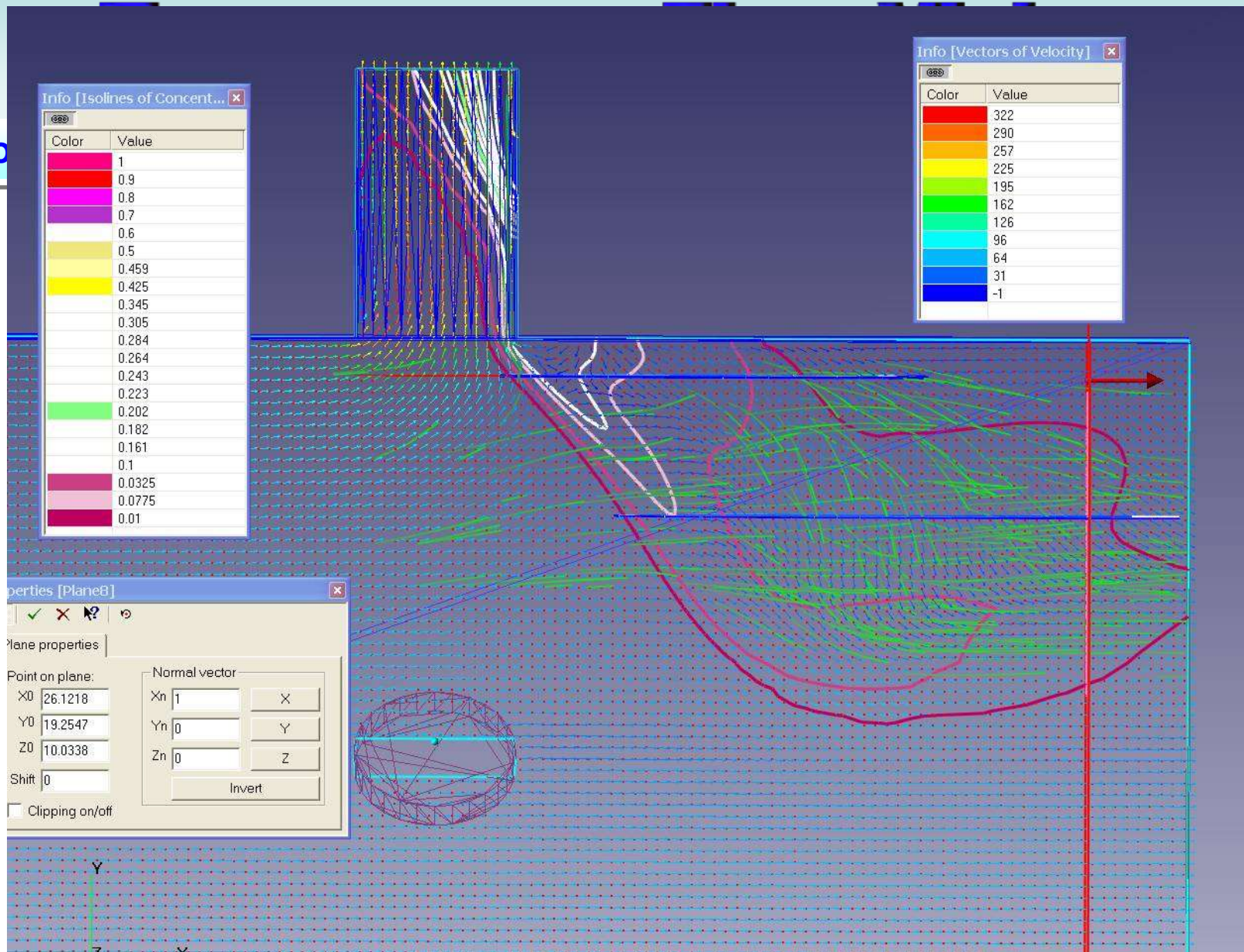
Моделирование сброса жидкости из бака в набегающий воздушный поток.



Расчётная сетка

Mo

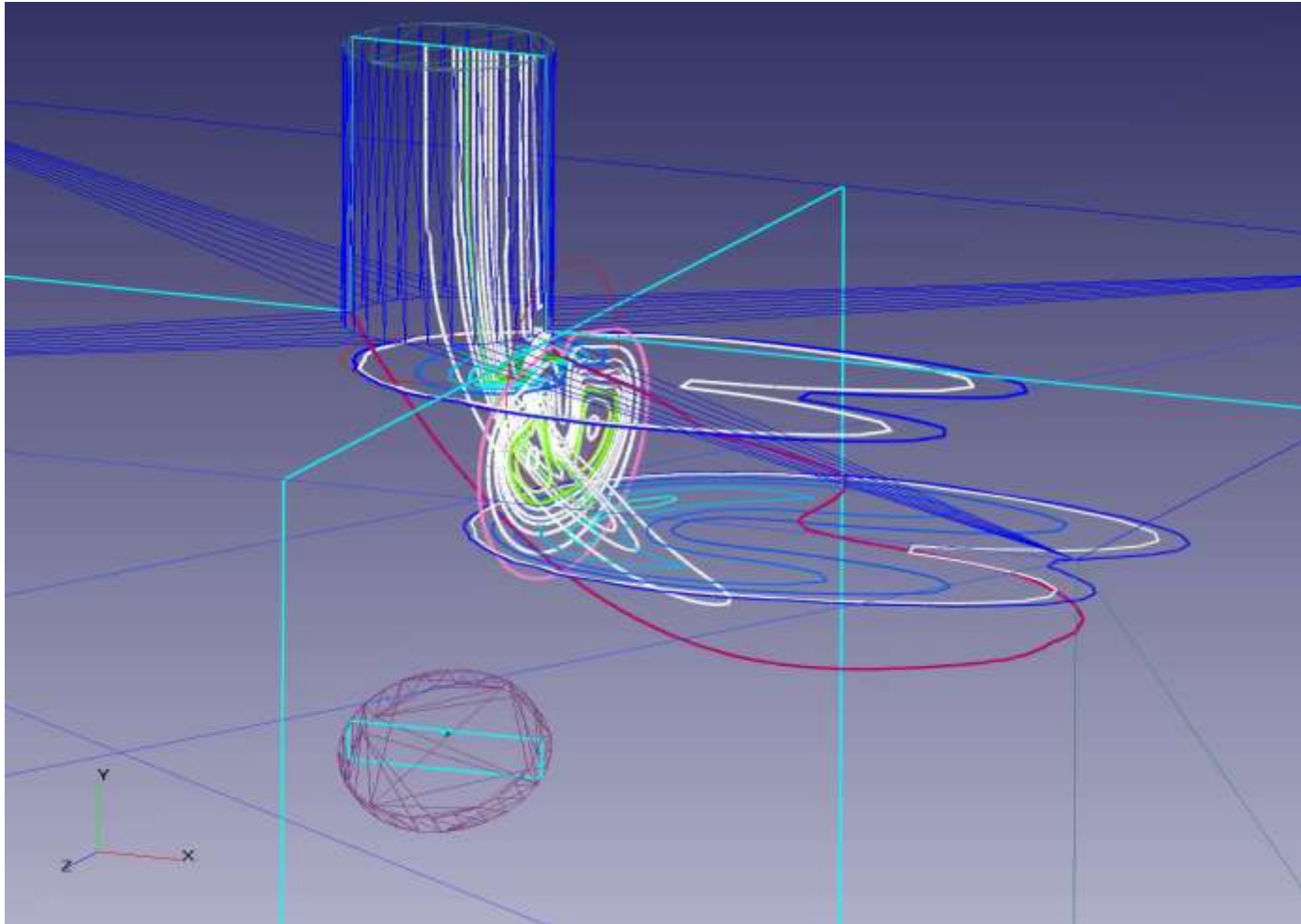
K.



Изолинии свободной поверхности (VOF) и линии тока

Применение Flow Vision

Моделирование сброса жидкости из бака в набегающий воздушный поток.



Изолинии свободной поверхности (VOF)