



Школа-семинар
**«Основы использования
OpenFOAM, SALOME и ParaView»**

САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА



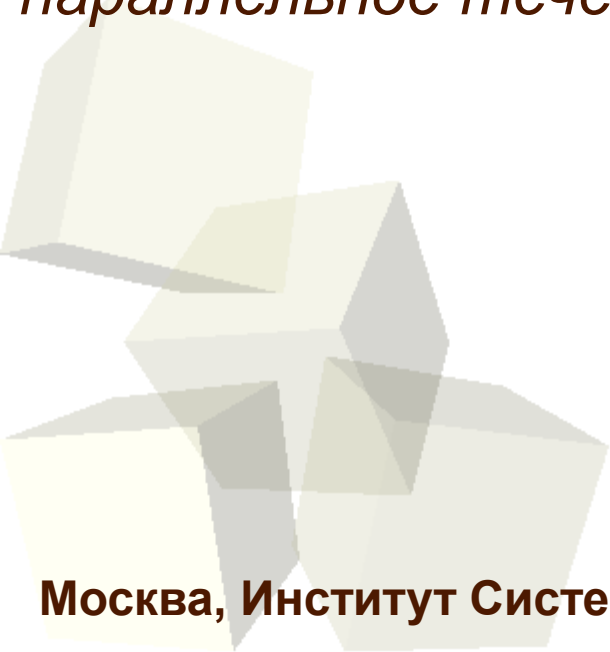
*М.В. Крапошин (НИЦ Курчатовский институт)
О.И. Самоваров (Институт системного программирования РАН)
С.В. Стрижак (ГОУ ВПО МГТУ им. Баумана)*



САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА. СПИСОК ЗАДАНИЙ

На выбор предлагаются следующие 4 простых класса задач:

- I. 2D обтекание бруса (внешнее, плоско-параллельное течение);*
- II. 2D обтекание цилиндра (внешнее, плоско-параллельное течение);*
- III. 3D обтекание сферы (внешнее, плоскопараллельное течение)*
- IV. 2D сужение потока в окнах клапана (внутреннее, плоско-параллельное течение)*





САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА. ПОЛНЫЙ СПИСОК ЗАДАНИЙ (1)

Для каждого из четырех классов предлагается несколько вариантов наборов исходных данных (варианты 1-8)

Вариант 1 — 2D обтекание бруса при числе $Re=100$ (ортогональная, структурированная гексаэдральная сетка).

Вариант 2 — 2D обтекание бруса при числе $Re=1000$ (ортогональная, структурированная гексаэдральная сетка).

Вариант 3 — 2D обтекание бруса при числе $Re=10000$ (ортогональная, структурированная гексаэдральная сетка).

Вариант 4 — 2D обтекание бруса при числе $Re=100000$ (ортогональная, структурированная гексаэдральная сетка).

Вариант 5 — 2D обтекание цилиндра при числе $Re=100$ (слабо неортогональная, структурированная гексаэдральная сетка).

Вариант 6 — 2D обтекание цилиндра при числе $Re=1000$ (слабо неортогональная, структурированная гексаэдральная сетка).

Вариант 7 — 2D обтекание цилиндра при числе $Re=10000$ (слабо неортогональная, структурированная гексаэдральная сетка).

Вариант 8 — 2D обтекание цилиндра при числе $Re=100000$ (слабо неортогональная, структурированная гексаэдральная сетка).



САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА. ПОЛНЫЙ СПИСОК ЗАДАНИЙ (2)

Для каждого из четырех классов предлагается несколько вариантов наборов исходных данных (варианты 9-15)

Вариант 9 — 3D обтекание сферы при числе $Re=10000$ (тетраэдральная неструктурированная сетка).

Вариант 10 — 3D обтекание сферы при числе $Re=100000$ (тетраэдральная неструктурированная сетка).

Вариант 11 — сужение потока в окнах с перекрытием 0%, несжимаемое

Вариант 12 — сужение потока в окнах с перекрытием 0%, сжимаемое

Вариант 13 — сужение потока в окнах с перекрытием 10%, несжимаемое

Вариант 14 — сужение потока в окнах с перекрытием 10%, сжимаемое

Вариант 15 — сужение потока в окнах с перекрытием 50%, сжимаемое

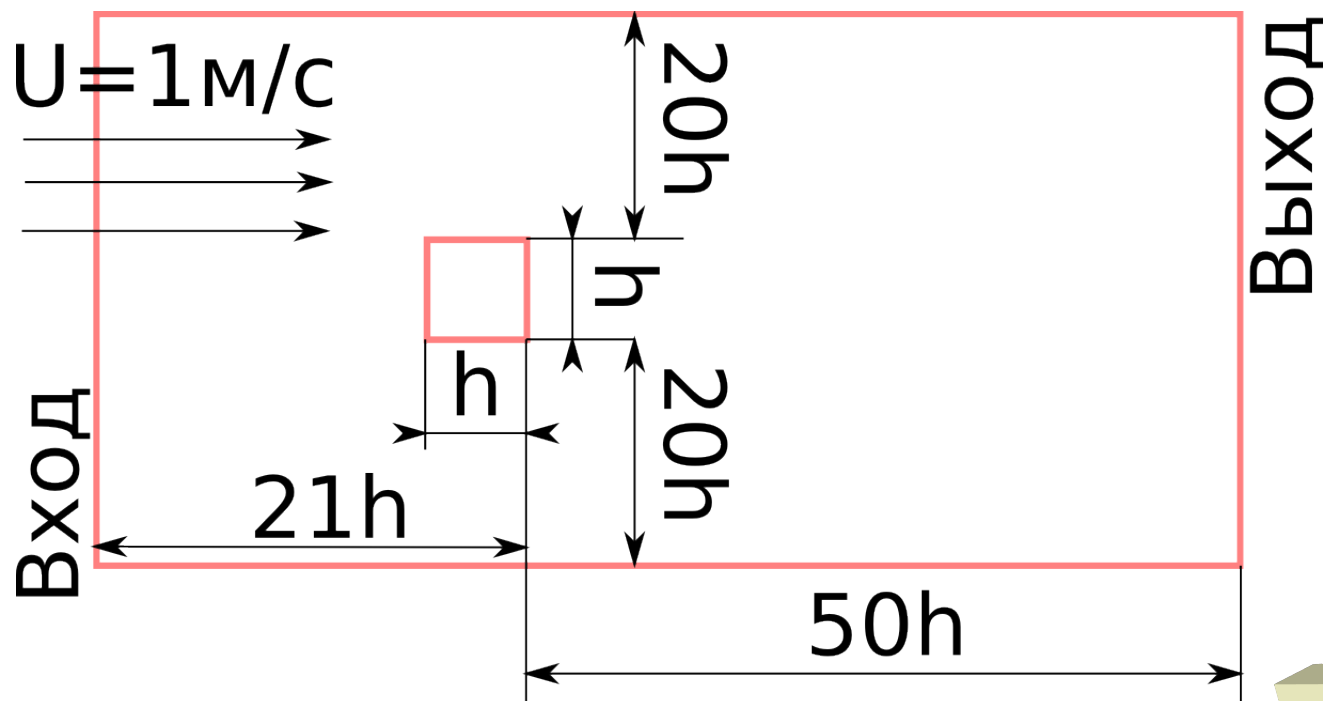


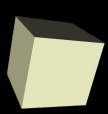
I. ОБТЕКАНИЕ БРУСА — ГЕОМЕТРИЯ

Рассматривается плоско-параллельное обтекание бруса несжимаемой вязкой жидкостью при различных числах Рейнольдса. Для формирования геометрии используется параметр $h = 10\text{см}$ (0.01м) — см. схему снизу. Использовать модель k -omega SST

Требуется: 1) сформировать геометрию расчетной области средствами SALOME (GEOM) в блочно-гексаэдральном виде; 2) определить на геометрии поверхности для задания граничных условий; 3) построить гексаэдральную расчетную сетку средствами SALOME (SMESH); 4) в пакете OpenFOAM провести расчет

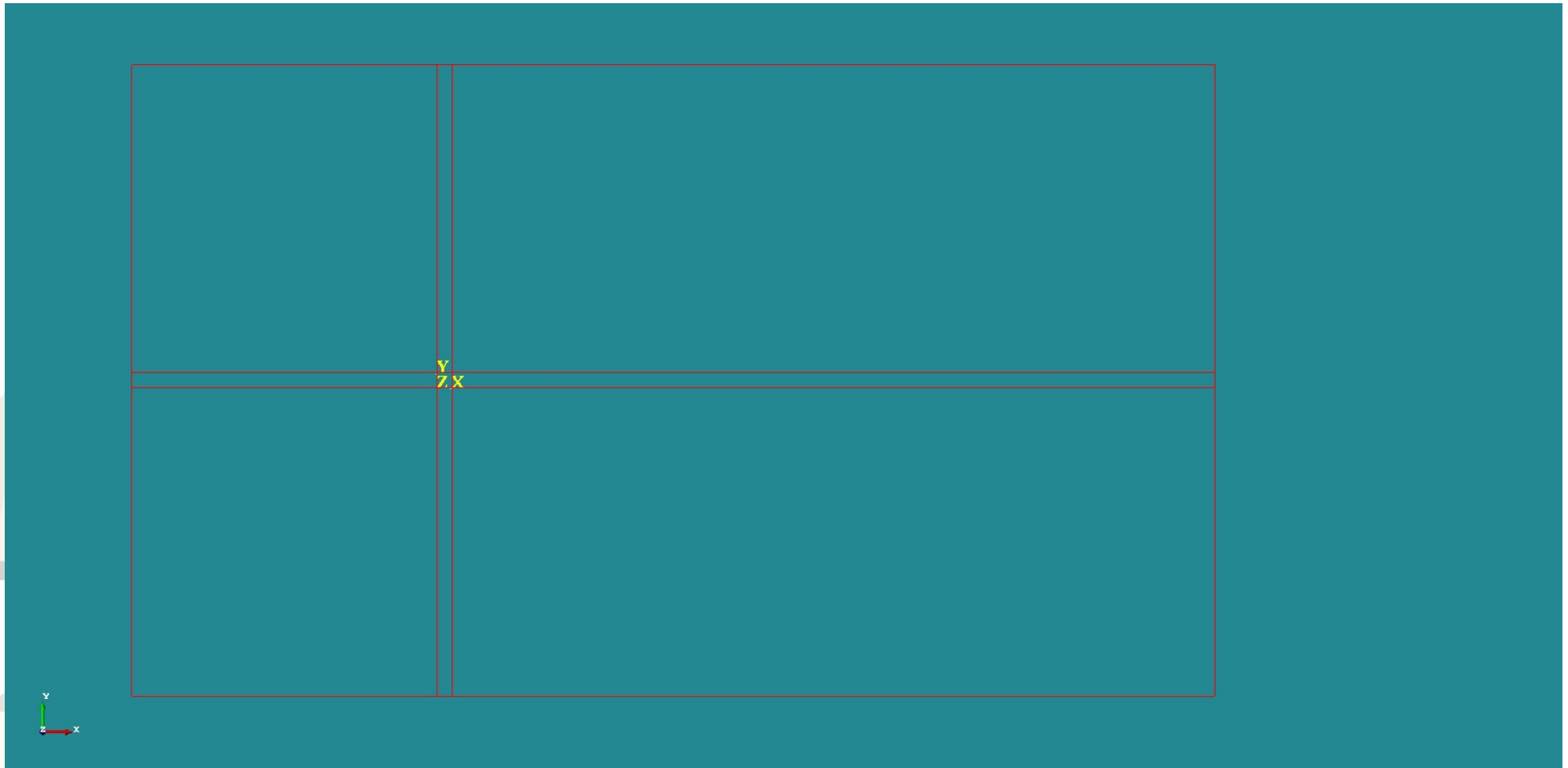
стационарного состояния для одного из следующих чисел Re : 100, 1000, 10000, 100000; 5) по результатам расчета в пакете ParaView построить поля скорости и давления; 6) построить распределение давления по периметру бруса

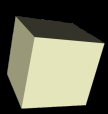




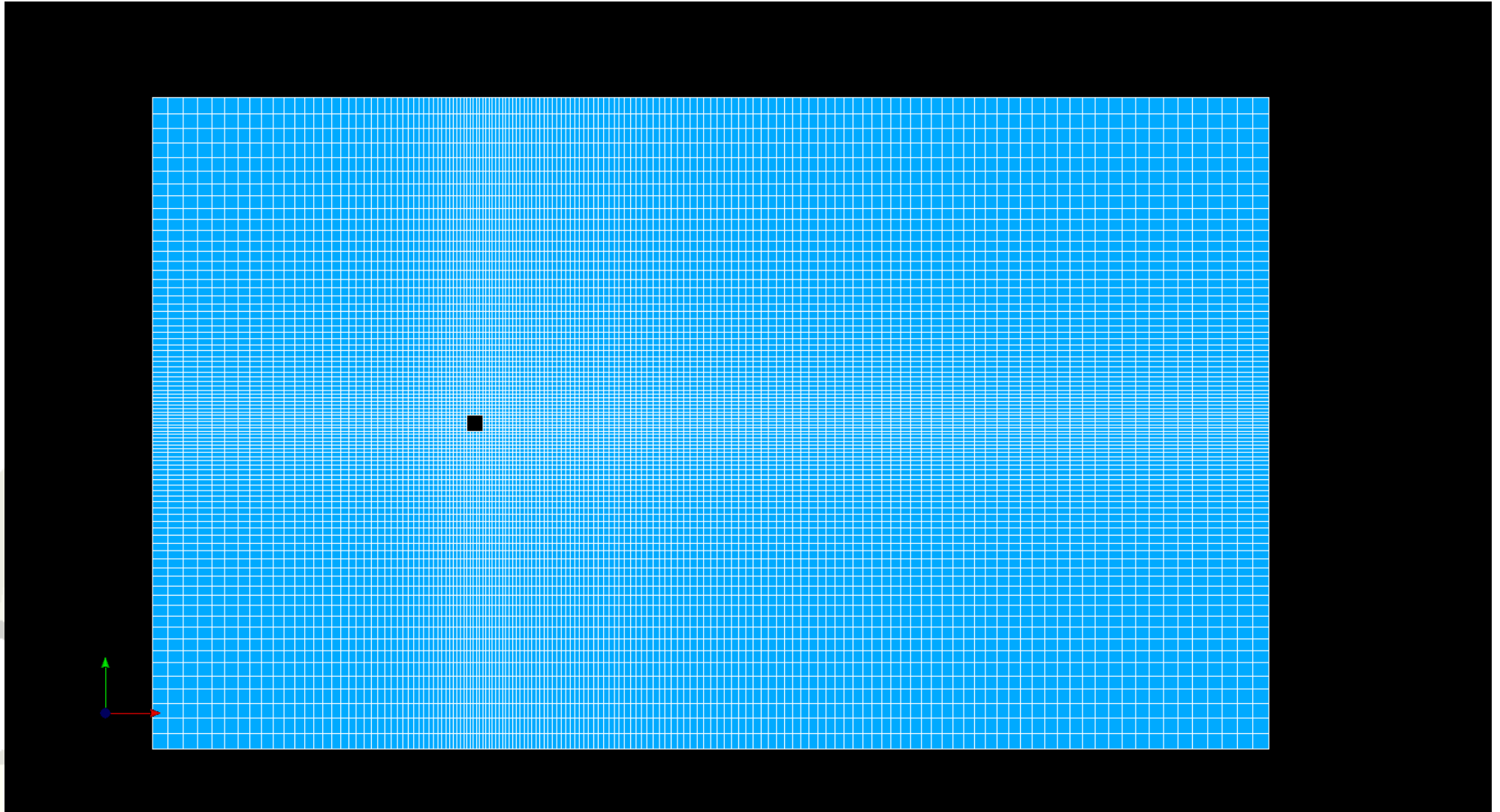
I. ОБТЕКАНИЕ БРУСА — БЛОЧНАЯ ГЕОМЕТРИЯ

По схеме расчетной области следует создать блочную геометрию похожего вида





I. ОБТЕКАНИЕ БРУСА — РАСЧЕТНАЯ СЕТКА





I. ОБТЕКАНИЕ БРУСА — КРАЕВЫЕ УСЛОВИЯ

Невозмущенные поля давления (p), скорости (U), кинетической энергии турбулентности (k), частоты диссипации кинетической энергии турбулентности (ω), турбулентной вязкости (ν_t). В нулевой момент времени $p=0$, $U=(0\ 0\ 0)$, $k=1e-3$, $\omega=1$.

Граничные условия:

- На входе (inlet) — задается U ($U_x=1\text{ м/с}$), k , ω . Нулевой градиент для давления
- На выходе (outlet) — задается давление $p=0$, нулевые градиенты для U , k , ω
- На стенках канала (tube-walls) — условие проскальзывания (slip) для всех величин
- На стенках бруса (cube-walls) — условие прилипание для скорости, пристеночные функции для k , ω и ν_t , условие непроницаемости для p

Задание ГУ и НУ для полей k , ω и ν_t необходимо только при решении турбулентной задачи

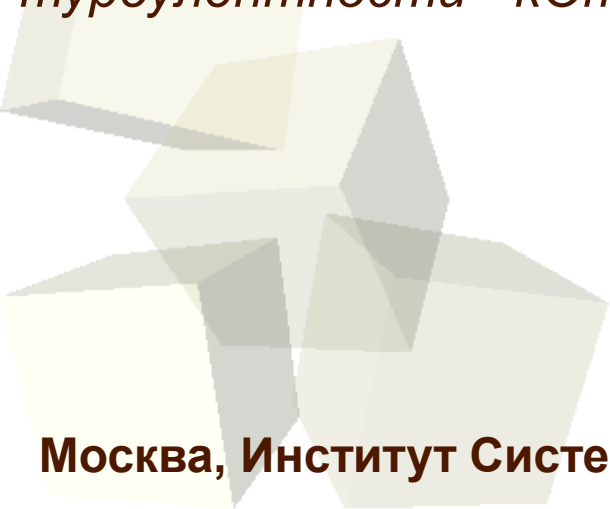


I. ОБТЕКАНИЕ БРУСА — КОНСТАНТЫ МОДЕЛИ

Исходя из заданных h (10см по умолчанию) и скорости на входе (1м/с по умолчанию) выбираем такую вязкость, чтобы соответствовала заданному числу Re :

- 1) $Re=100$, вязкость — $1e-4$ (при $h=10\text{см}$, $U_x=1\text{м/с}$)
- 2) $Re=1000$, вязкость — $1e-5$ (при $h=10\text{см}$, $U_x=1\text{м/с}$)
- 3) $Re=10000$, вязкость — $1e-6$ (при $h=10\text{см}$, $U_x=1\text{м/с}$)
- 4) $Re=100000$, вязкость — $1e-7$ (при $h=10\text{см}$, $U_x=1\text{м/с}$)

Для первых двух случаев можно не использовать моделирование турбулентности, для третьего и четвертого обязательно. Модель турбулентности - $k\Omega SST$



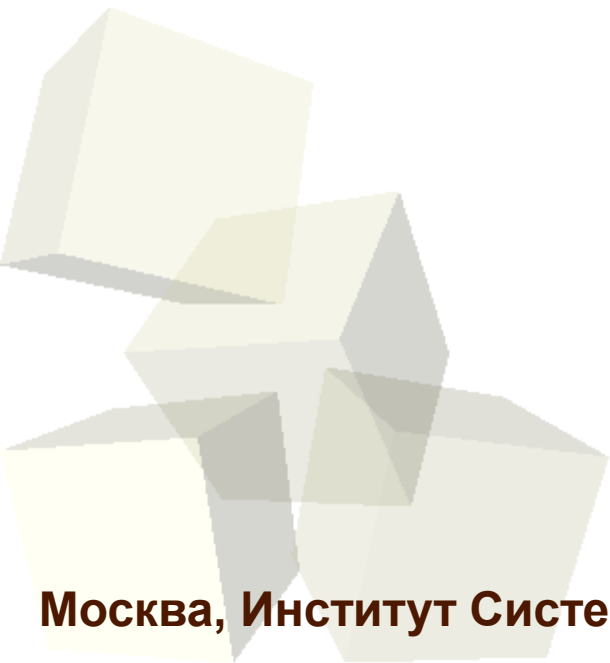


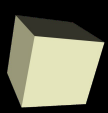
I. ОБТЕКАНИЕ БРУСА — ПАРАМЕТРЫ СЧЕТА

Расчет проводится по итерациям (шаг по времени = 1), вывод через каждые 100 шагов. Общее число итераций — 1000.

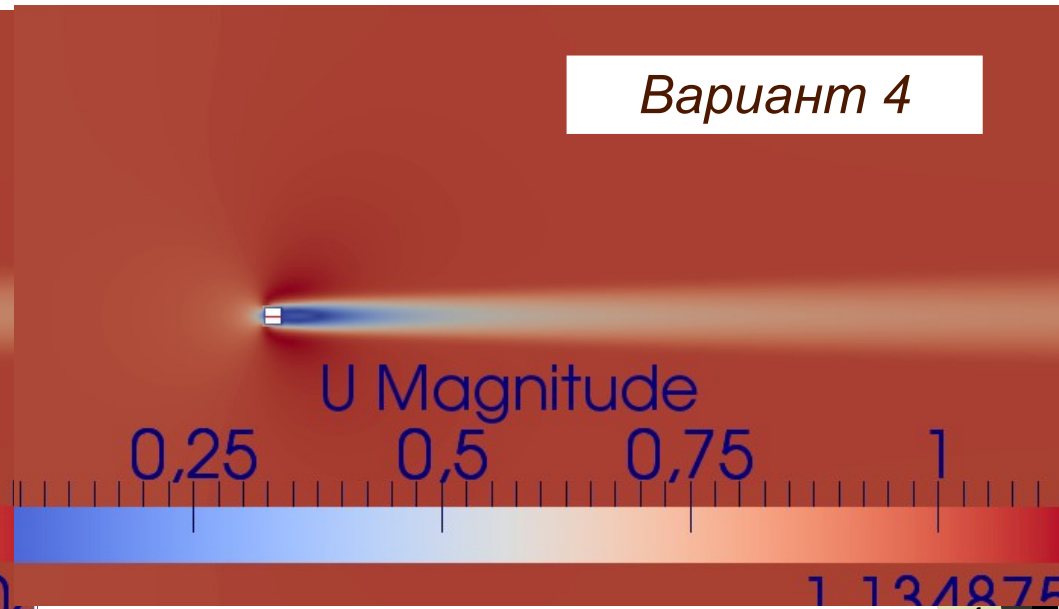
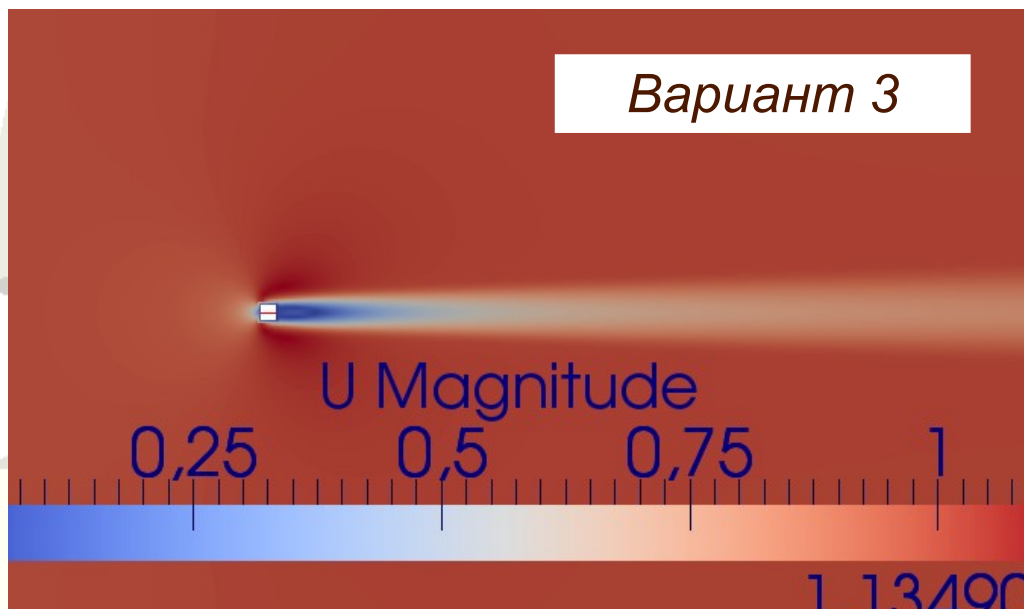
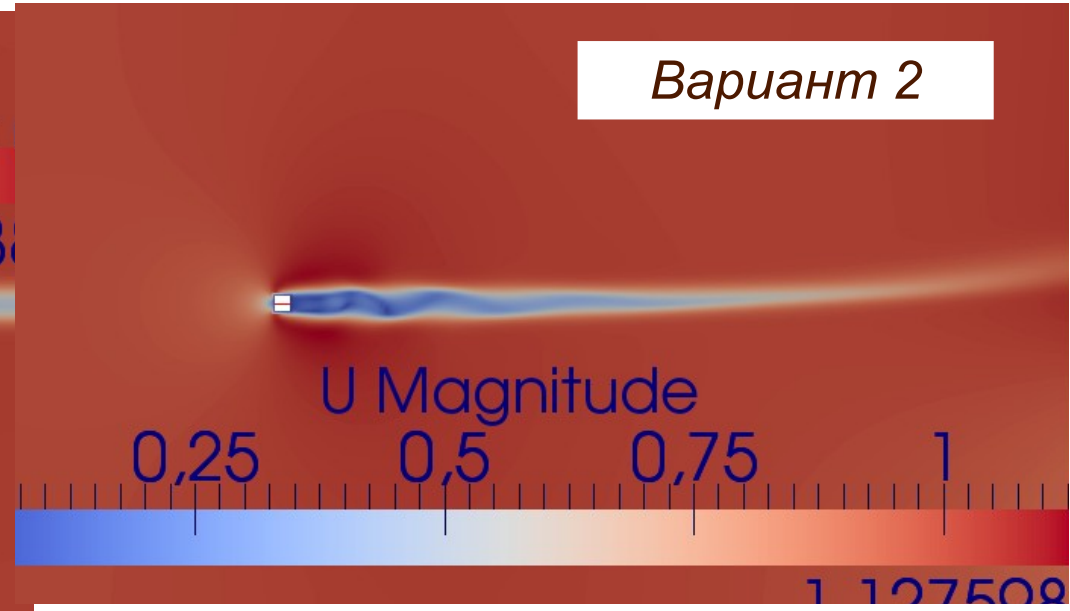
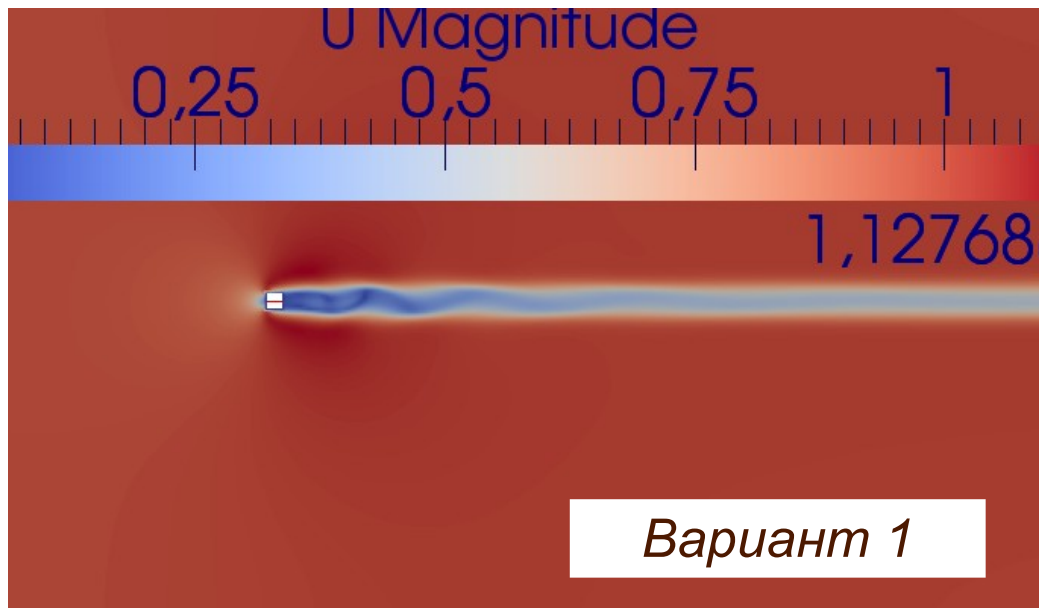
Для адвективных слагаемых используется противопоточная схема дискретизации.

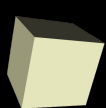
Коэффициенты релаксации: $r_u = 0.5$, $r_p = 0.3$, $r_k = 0.7$, $k_{\omega} = 0.7$





I. ОБТЕКАНИЕ БРУСА — РЕЗУЛЬТАТЫ





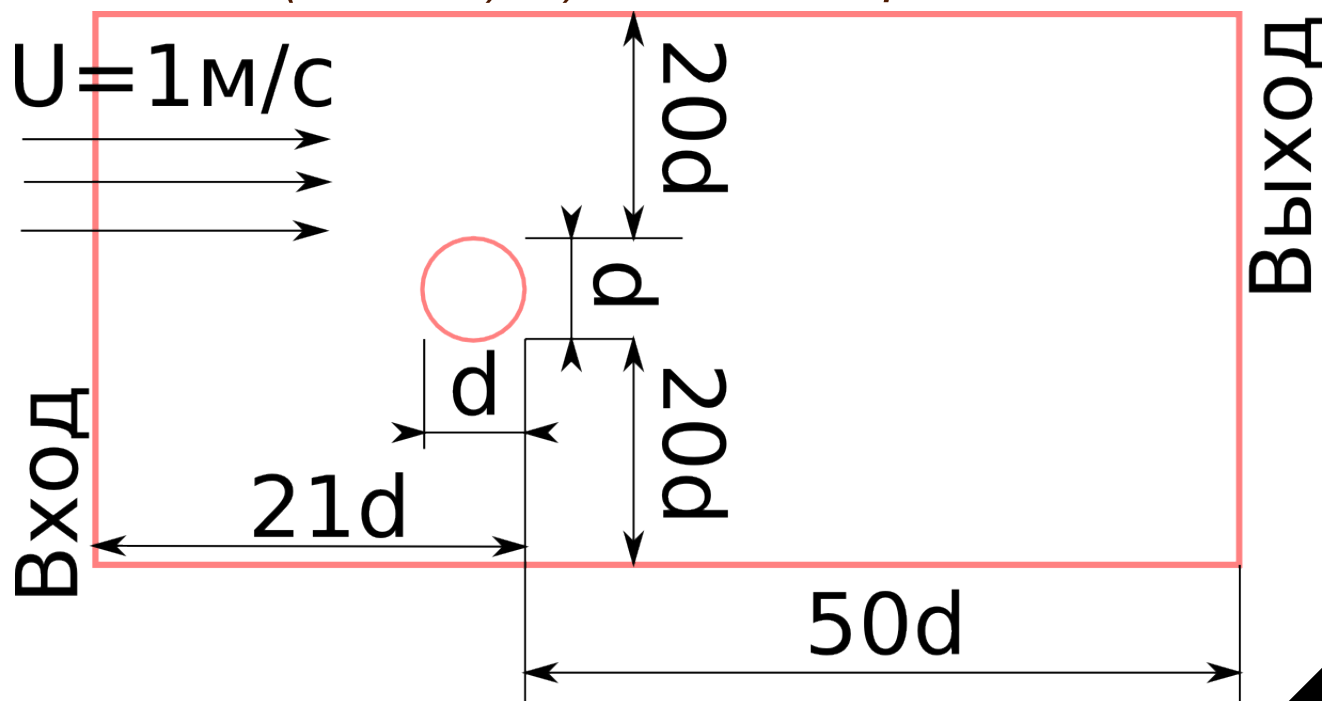
II. ОБТЕКАНИЕ ЦИЛИНДРА - ГЕОМЕТРИЯ

Рассматривается плоско-параллельное обтекание цилиндра несжимаемой вязкой жидкостью при различных числах Рейнольдса. Для формирования геометрии используется параметр $d = 10\text{см}$ (0.01м) — см. схему снизу.

Использовать модель k -omega SST

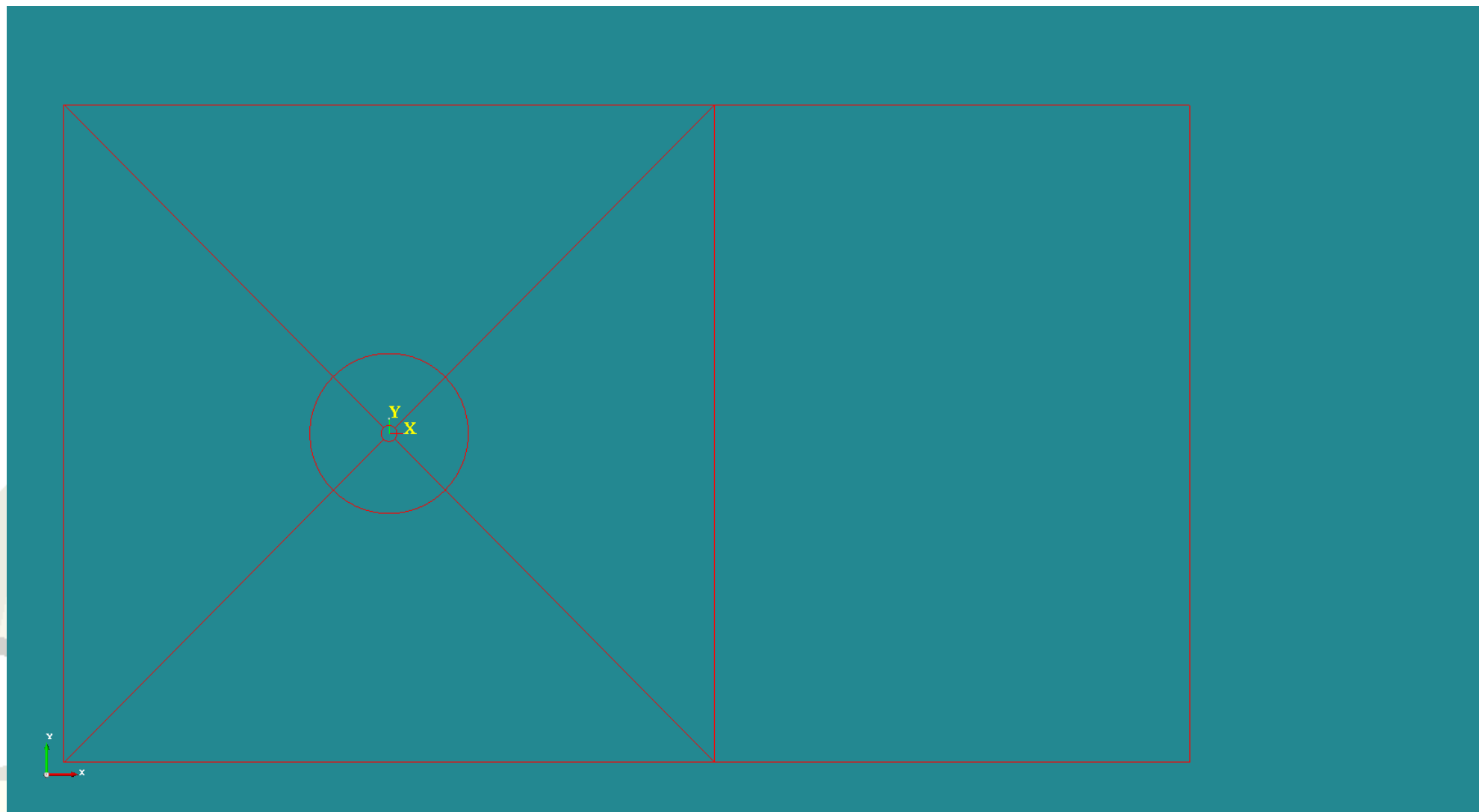
Требуется: 1) сформировать геометрию расчетной области средствами SALOME (GEOM) в блочно-гексаэдральном виде; 2) определить на геометрии поверхности для задания граничных условий; 3) построить гексаэдральную расчетную сетку средствами SALOME (SMESH); 4) в пакете OpenFOAM

провести расчет стационарного состояния для одного из следующих чисел Re : 100, 1000, 10000, 100000; 5) по результатам расчета в пакете ParaView построить поля скорости и давления; 6) построить распределение давления по периметру бруса



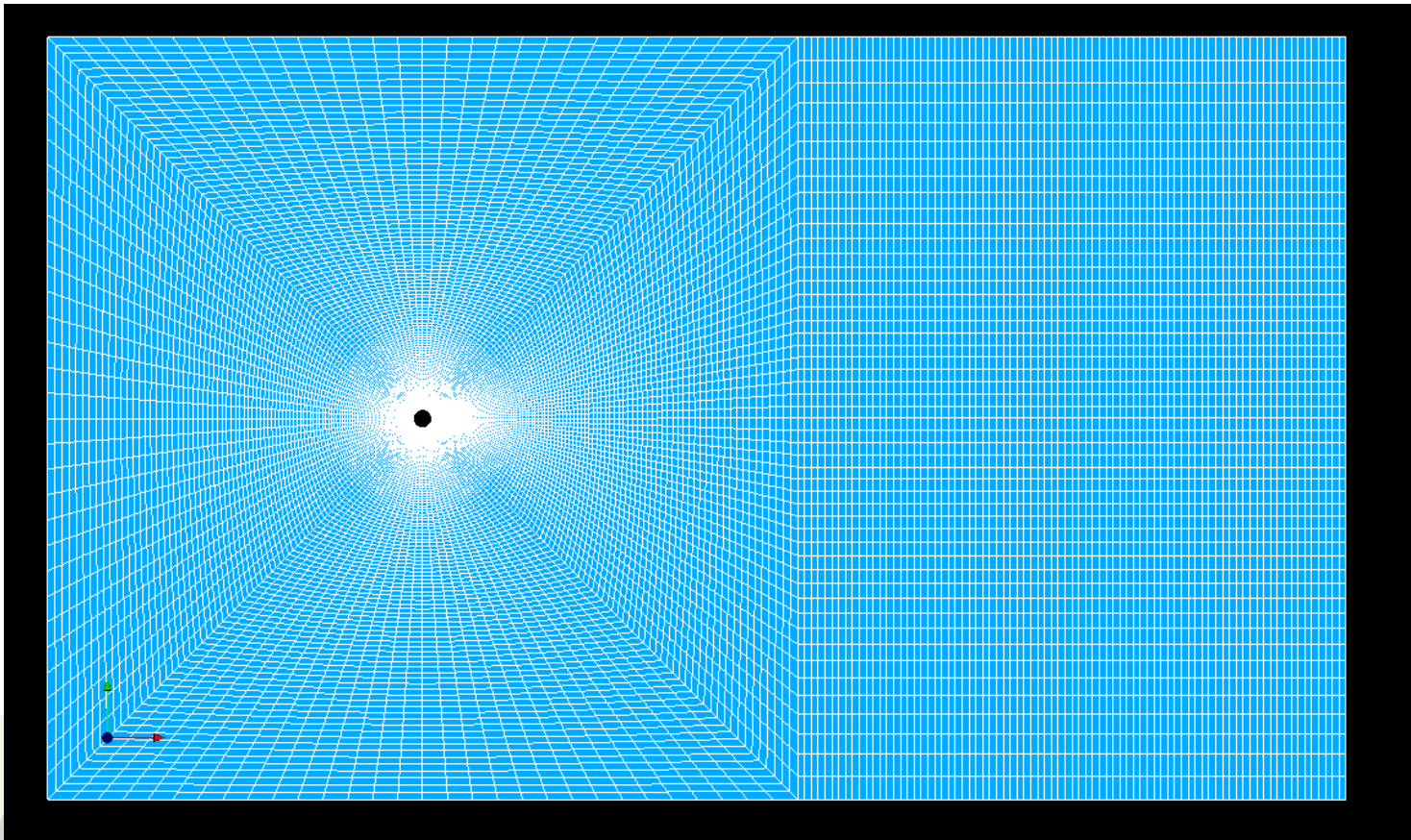


II. ОБТЕКАНИЕ ЦИЛИНДРА — БЛОЧНАЯ ГЕОМЕТРИЯ





II. ОБТЕКАНИЕ ЦИЛИНДРА — РАСЧЕТНАЯ СЕТКА





II. ОБТЕКАНИЕ ЦИЛИНДРА — КРАЕВЫЕ УСЛОВИЯ

Невозмущенные поля давления (p), скорости (U), кинетической энергии турбулентности (k), частоты диссипации кинетической энергии турбулентности (ω), турбулентной вязкости (ν_t). В нулевой момент времени $p=0$, $U=(0\ 0\ 0)$, $k=1e-3$, $\omega=1$.

Граничные условия:

- На входе (*inlet*) — задается U ($U_x=1\text{ м/с}$), k , ω . Нулевой градиент для давления
- На выходе (*outlet*) — задается давление $p=0$, нулевые градиенты для U , k , ω
- На стенках канала (*tube-walls*) — условие проскальзывания (*slip*) для всех величин
- На стенках цилиндра (*cyl-walls*) — условие прилипание для скорости, пристеночные функции для k , ω и ν_t , условие непроницаемости для p

Задание ГУ и НУ для полей k , ω и ν_t необходимо только при решении турбулентной задачи



II. ОБТЕКАНИЕ ЦИЛИНДРА — КОНСТАНТЫ МОДЕЛИ

Исходя из заданных d (10см по умолчанию) и скорости на входе (1м/с по умолчанию) выбираем такую вязкость, чтобы соответствовала заданному числу Re :

- 1) $Re=100$, вязкость — $1e-4$ (при $d=10\text{см}$, $U_x=1\text{м/с}$)*
- 2) $Re=1000$, вязкость — $1e-5$ (при $d=10\text{см}$, $U_x=1\text{м/с}$)*
- 3) $Re=10000$, вязкость — $1e-6$ (при $d=10\text{см}$, $U_x=1\text{м/с}$)*
- 4) $Re=100000$, вязкость — $1e-7$ (при $d=10\text{см}$, $U_x=1\text{м/с}$)*

Для первых двух случаев можно не использовать моделирование турбулентности, для третьего и четвертого обязательно. Модель турбулентности - $k\Omega SST$



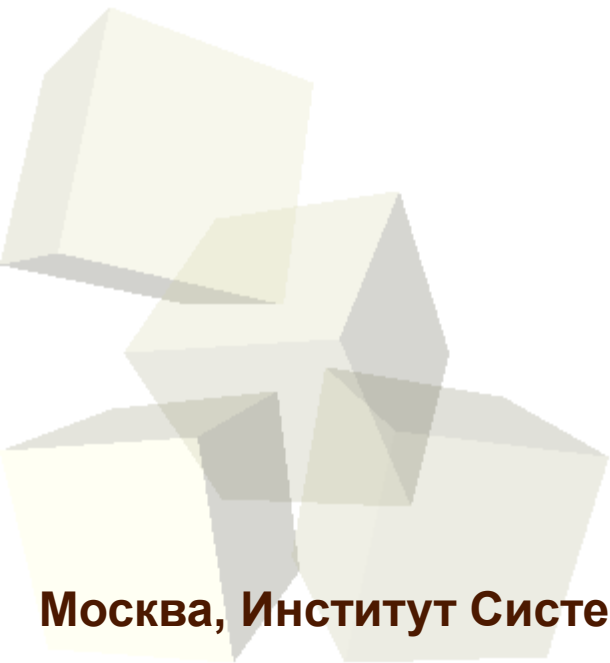
II. ОБТЕКАНИЕ ЦИЛИНДРА — ПАРАМЕТРЫ СЧЕТА

Расчет проводится по итерациям (шаг по времени = 1), вывод через каждые 100 шагов. Общее число итераций — 1000.

Для адвективных слагаемых используется противопоточная схема дискретизации.

Коэффициенты релаксации: $r_u = 0.5$, $r_p = 0.3$, $r_k = 0.7$, $k_{\omega} = 0.7$

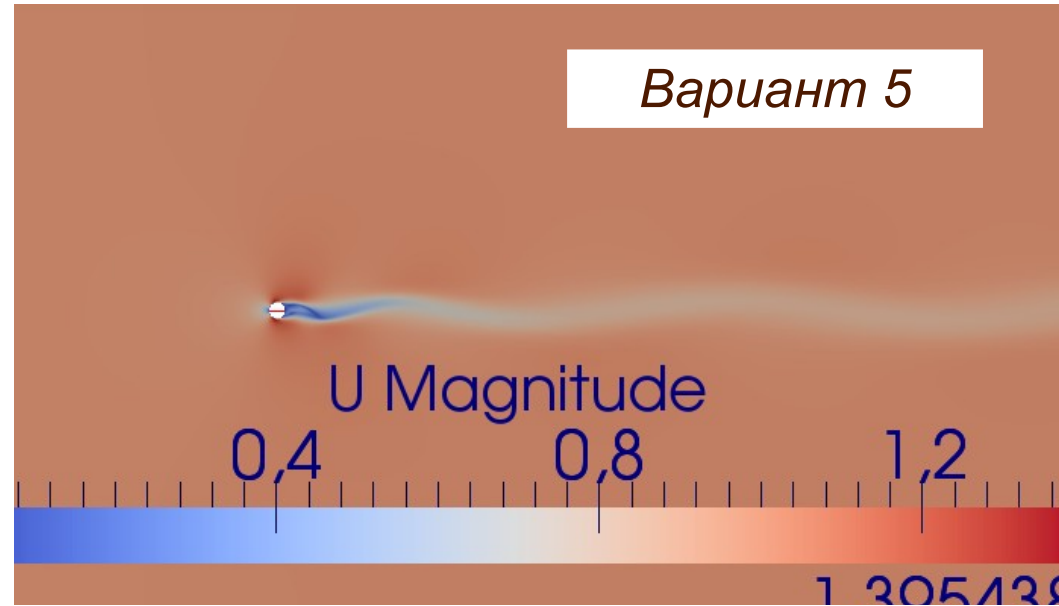
Число поправок на неортогональность - 1



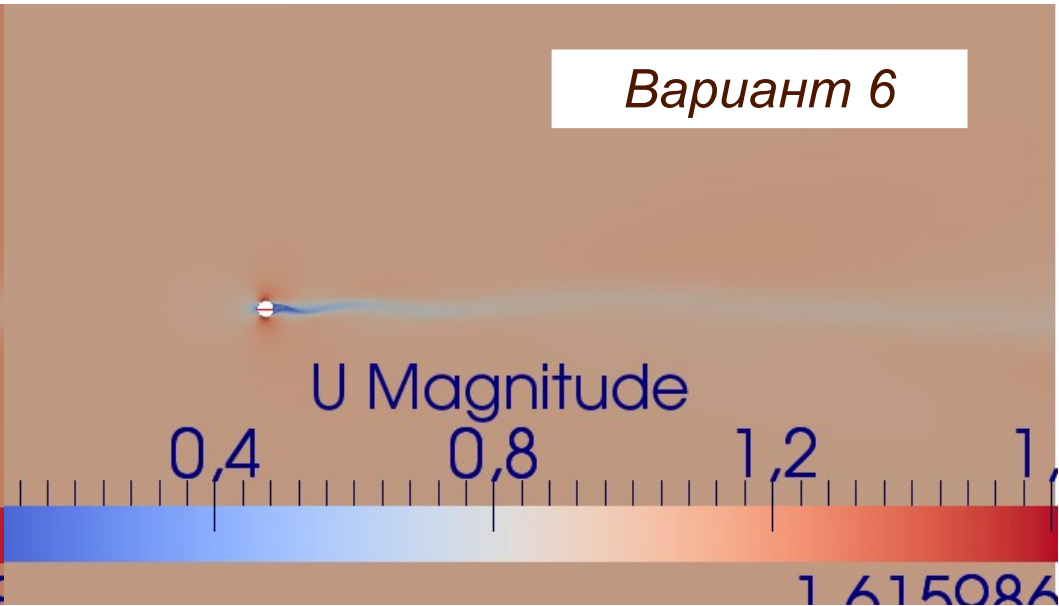


II. ОБТЕКАНИЕ ЦИЛИНДРА — РЕЗУЛЬТАТЫ

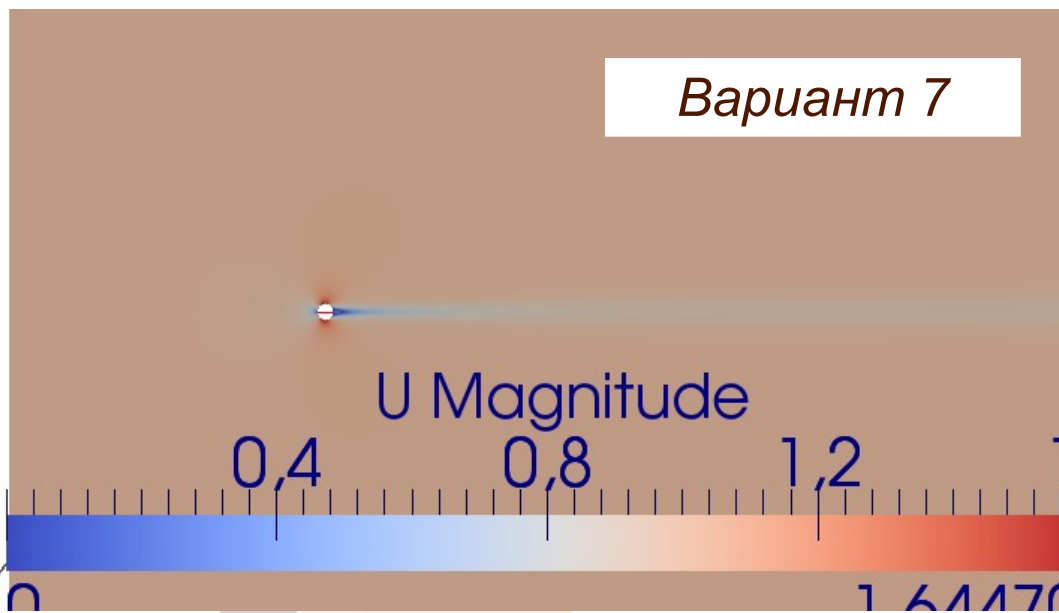
Вариант 5



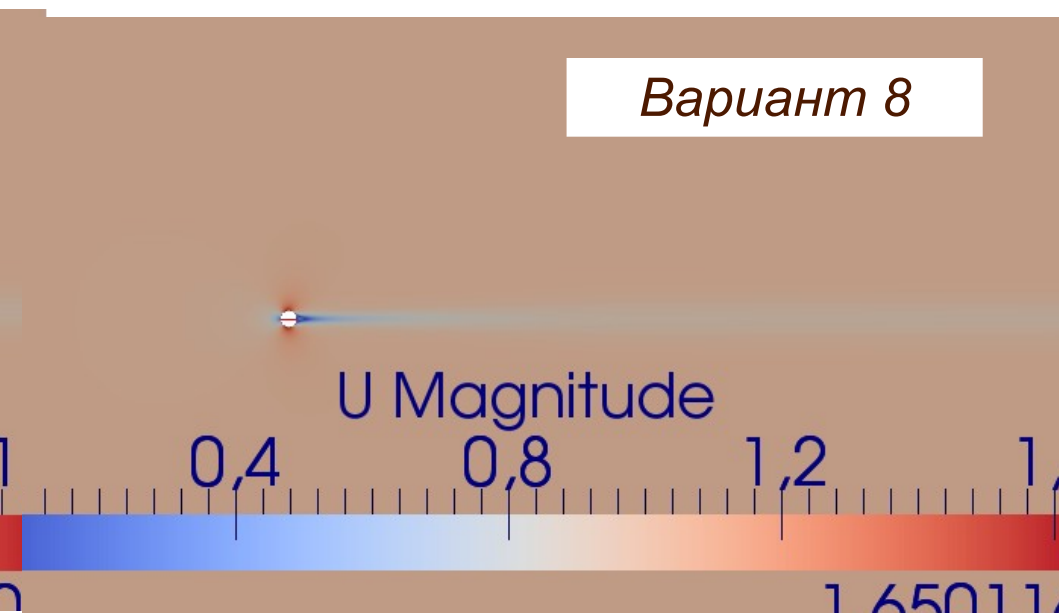
Вариант 6



Вариант 7



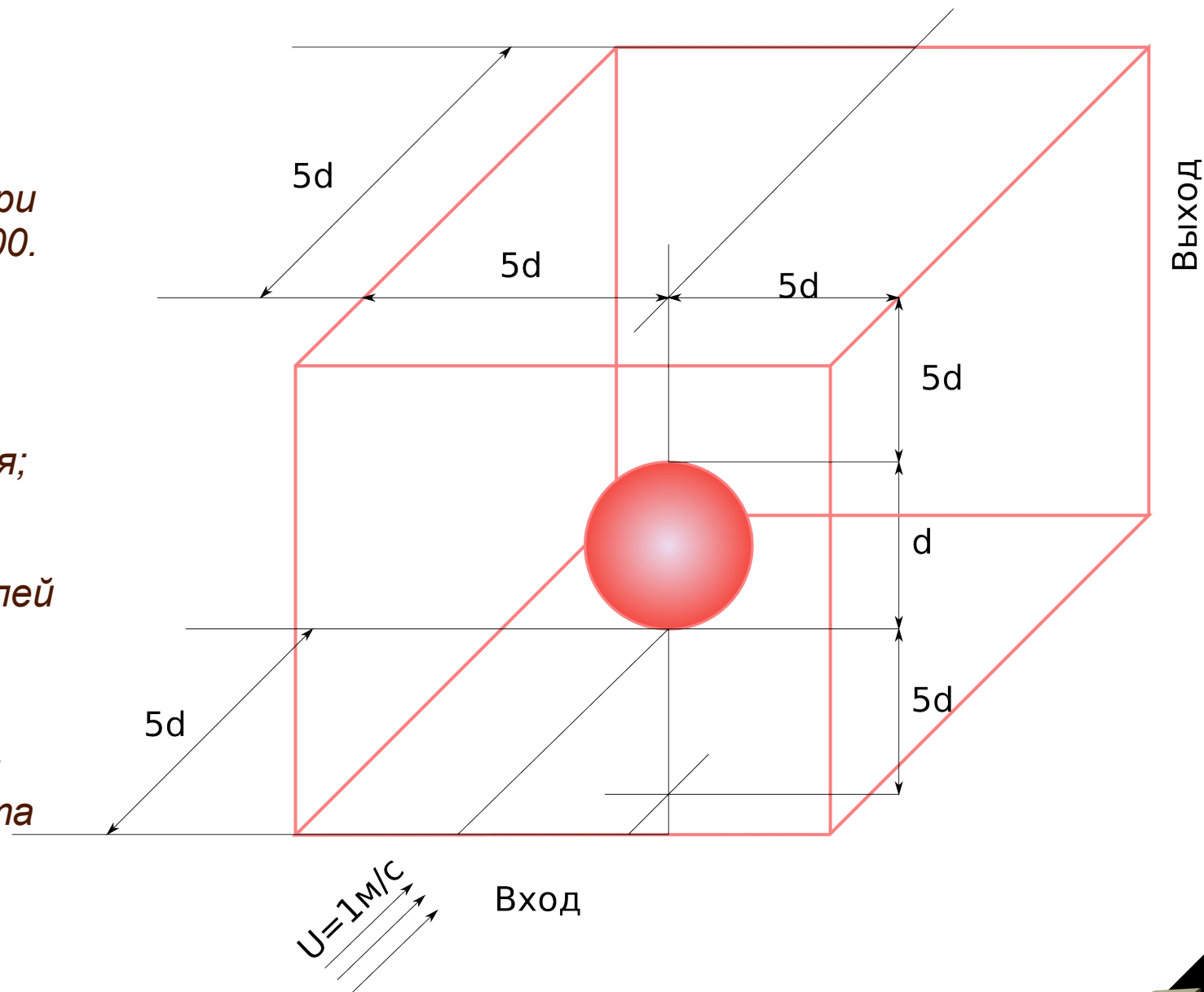
Вариант 8



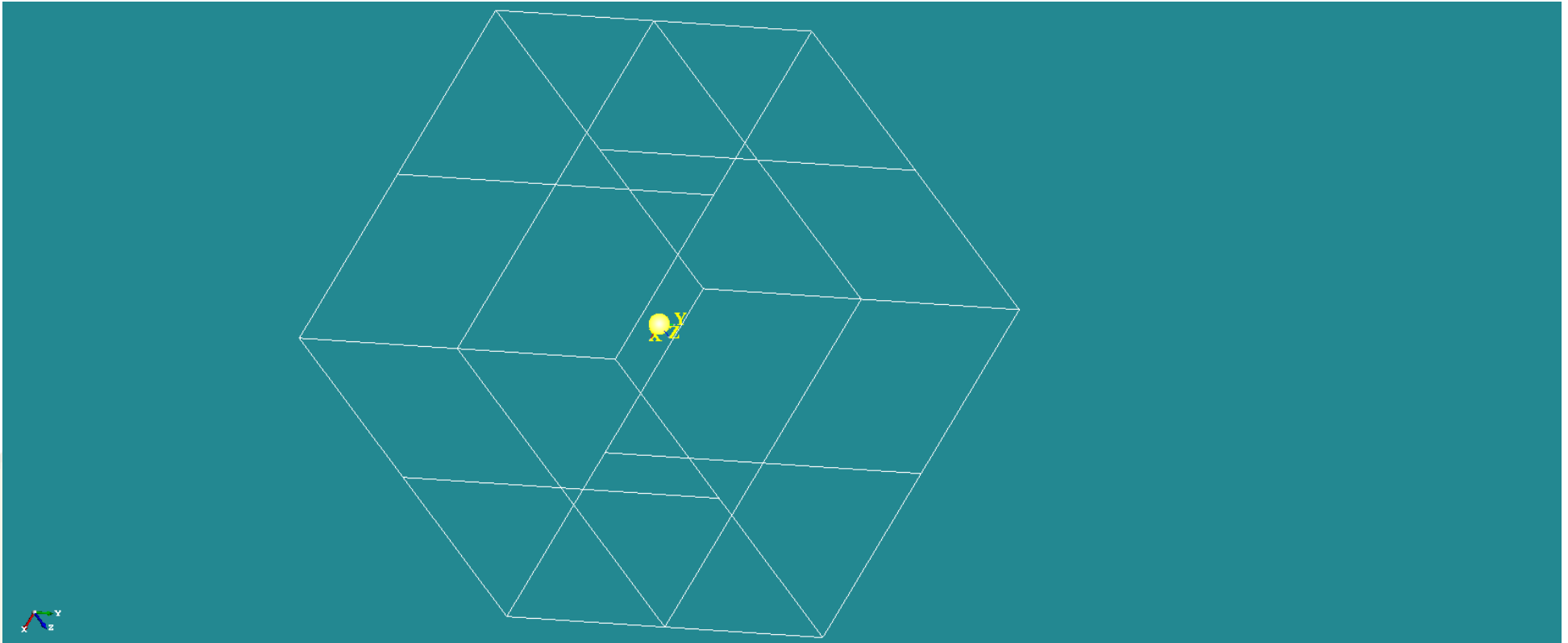


III. ОБТЕКАНИЕ СФЕРЫ - ГЕОМЕТРИЯ

Рассматривается 3D течение вокруг сферы диаметром d вязкой несжимаемой жидкости при числах $Re = 10000$ и 100000 . Требуется: а) создать геометрию и сетку (тетраэдральную) средствами SALOME; б) задать граничные условия; в) средствами пакета OpenFOAM выполнить расчет стационарных полей скорости и давления для одного из предложенных чисел Re ; г) выполнить визуализацию полученных данных средствами пакета ParaView

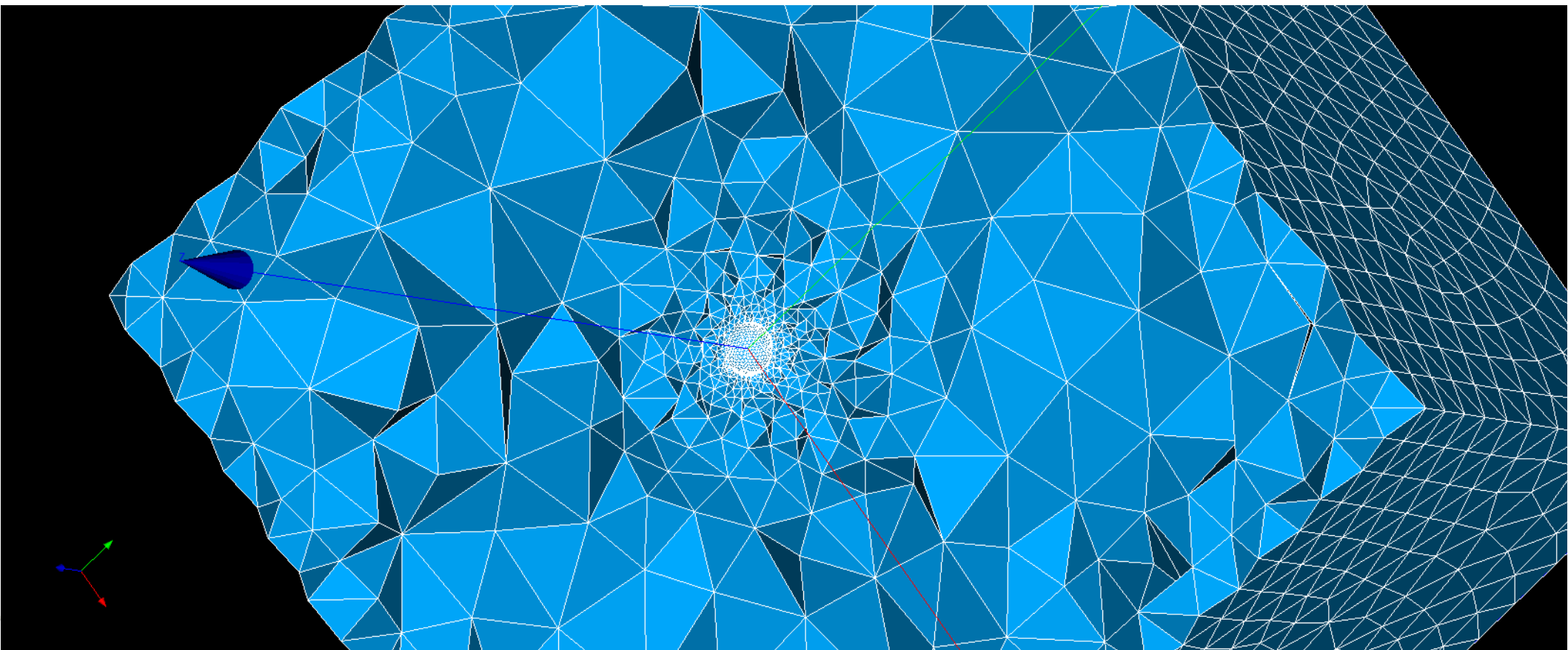


III. ОБТЕКАНИЕ СФЕРЫ — ГЕОМЕТРИЯ В SALOME





III. ОБТЕКАНИЕ СФЕРЫ — СЕТКА В SALOME





III. ОБТЕКАНИЕ СФЕРЫ — КРАЕВЫЕ УСЛОВИЯ

Невозмущенные поля давления (p), скорости (U), кинетической энергии турбулентности (k), частоты диссипации кинетической энергии турбулентности (ω), турбулентной вязкости (ν_t). В нулевой момент времени $p=0$, $U=(0\ 0\ 0)$, $k=1e-3$, $\omega=1$.

Граничные условия:

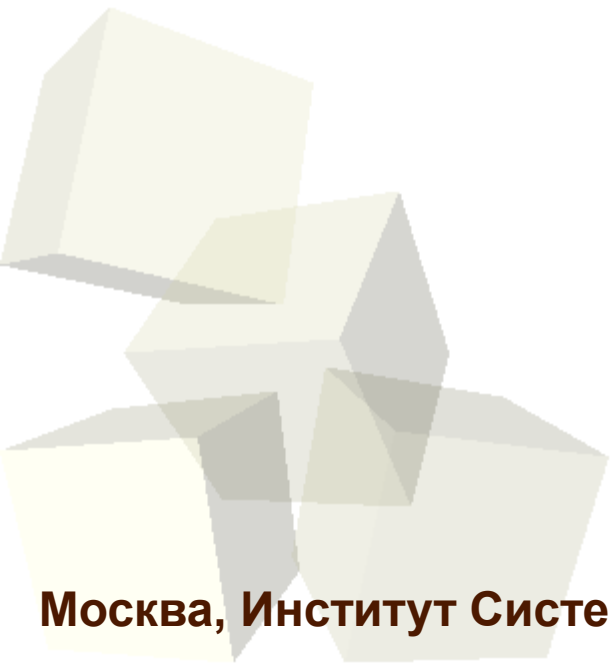
- На входе (*inlet*) — задается U ($U_x=1\text{ м/с}$), k , ω . Нулевой градиент для давления
- На выходе (*outlet*) — задается давление $p=0$, нулевые градиенты для U , k , ω
- На стенках канала (*tube-walls*) — условие проскальзывания (*slip*) для всех величин
- На стенках сферы (*sphere-walls*) — условие прилипание для скорости, пристеночные функции для k , ω и ν_t , условие непроницаемости для p

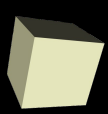


III. ОБТЕКАНИЕ СФЕРЫ — КОНСТАНТЫ МОДЕЛЕЙ

Исходя из заданных d (10см по умолчанию) и скорости на входе (1м/с по умолчанию) выбираем такую вязкость, чтобы соответствовала заданному числу Re :

- 1) $Re=10000$, вязкость — $1e-6$ (при $d=10\text{см}$, $U_x=1\text{м/с}$)
- 2) $Re=100000$, вязкость — $1e-7$ (при $d=10\text{см}$, $U_x=1\text{м/с}$)





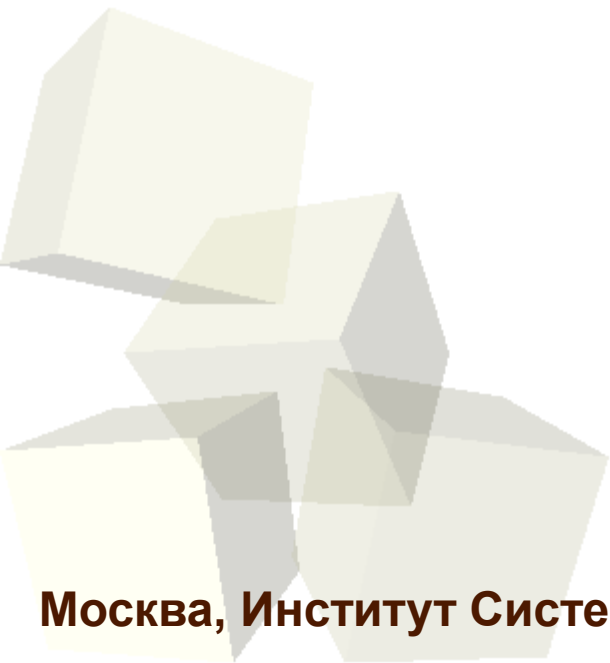
III. ОБТЕКАНИЕ СФЕРЫ — ПАРАМЕТРЫ СЧЕТА

Расчет проводится по итерациям (шаг по времени = 1), вывод через каждые 100 шагов. Общее число итераций — 1000.

Для адвективных слагаемых используется противопоточная схема дискретизации.

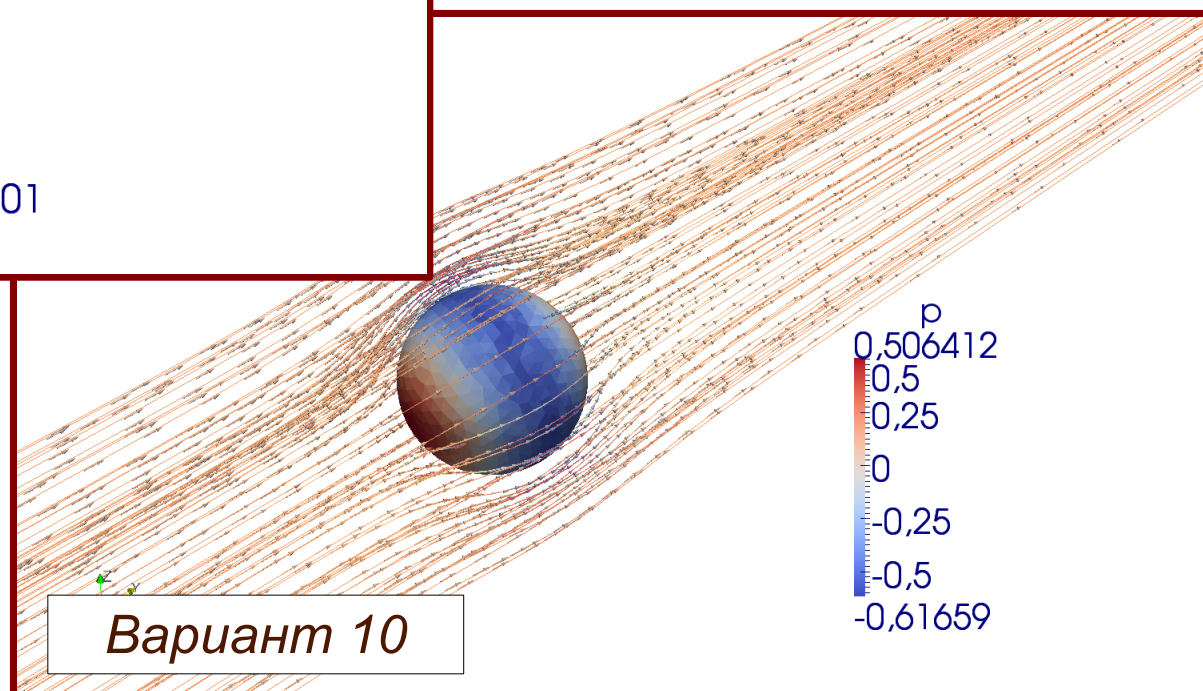
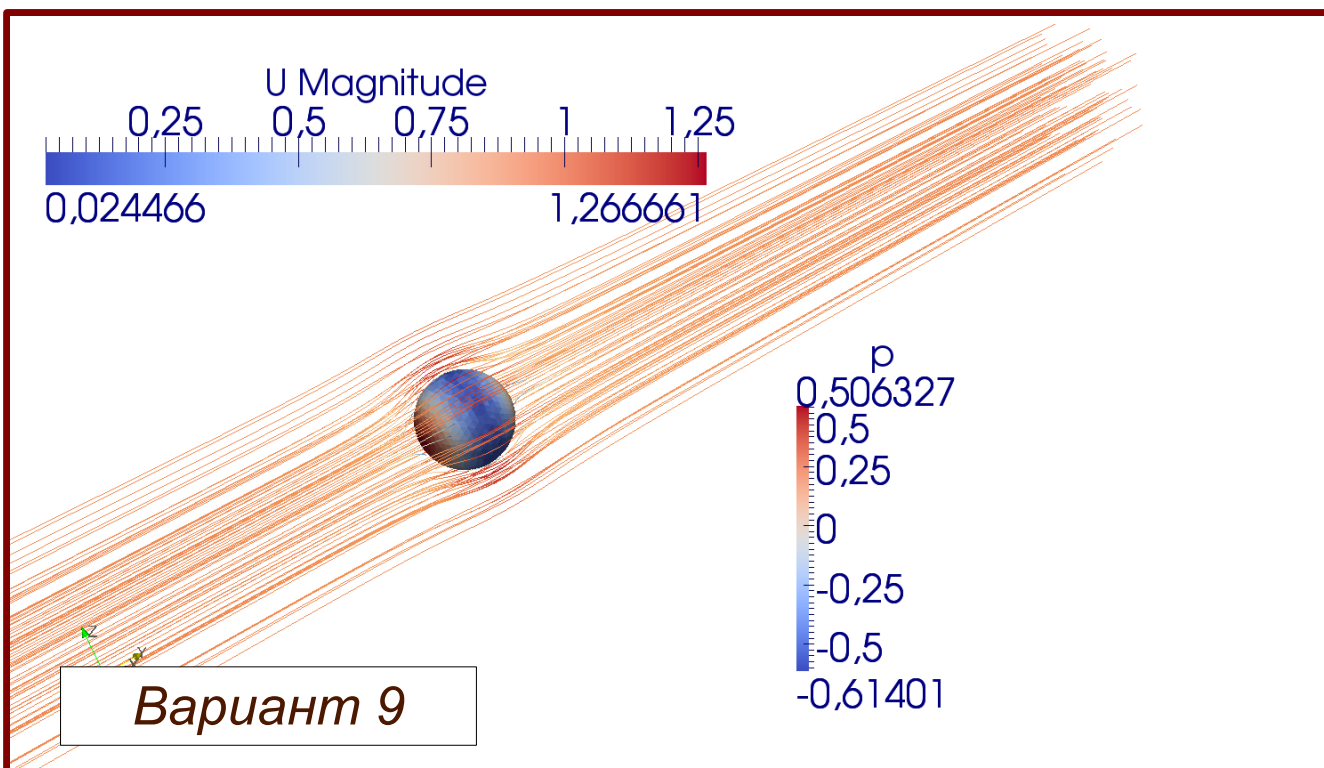
Коэффициенты релаксации: $r_u = 0.5$, $r_p = 0.3$, $r_k = 0.7$, $k_{\omega} = 0.7$

Число поправок на неортогональность - 1





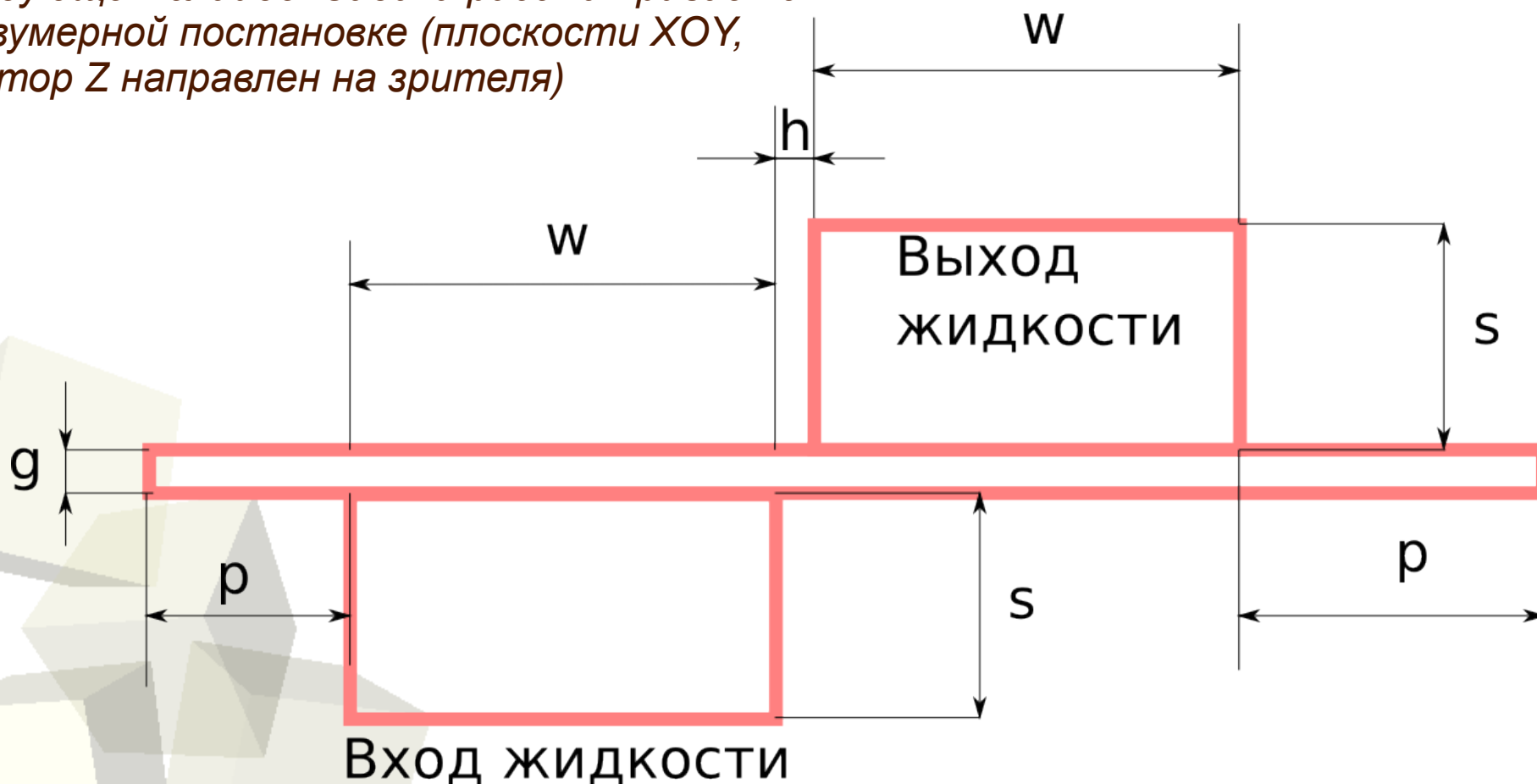
III. ОБТЕКАНИЕ СФЕРЫ — РЕЗУЛЬТАТЫ





IV. МОДЕЛИРОВАНИЕ ОКОН КЛАПАНА — ГЕОМЕТРИЯ (1)

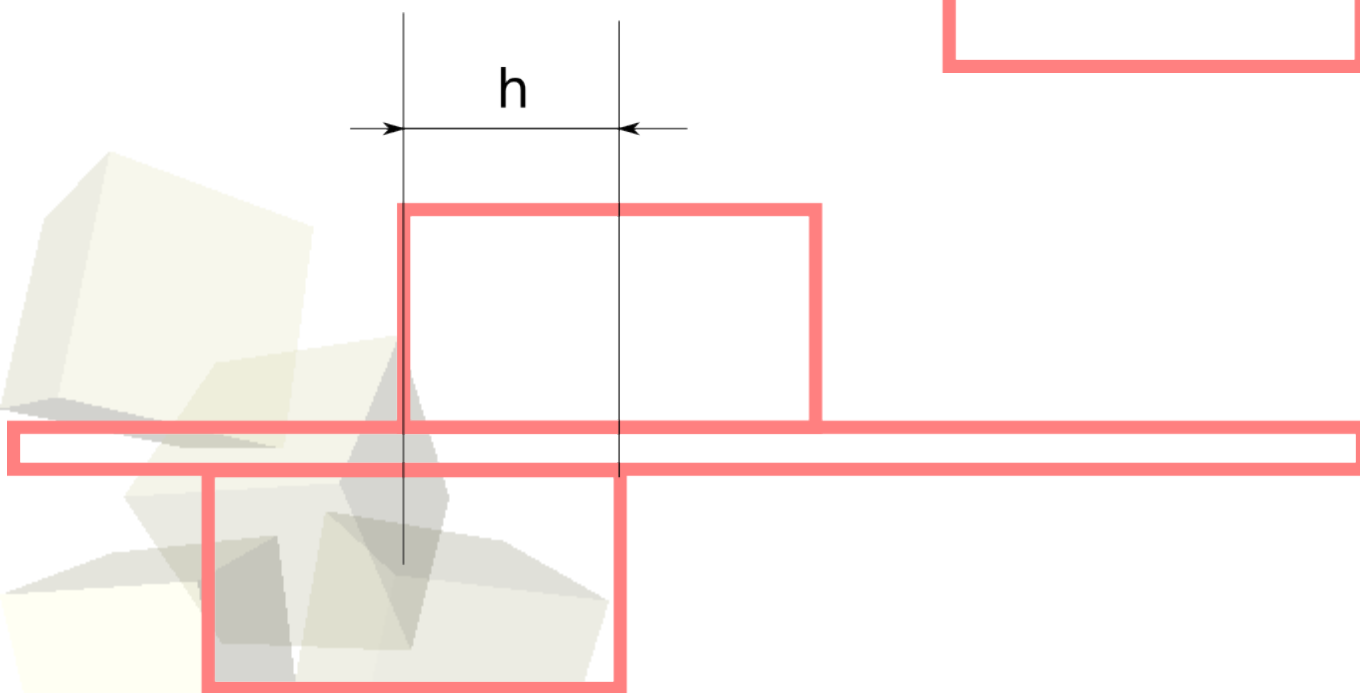
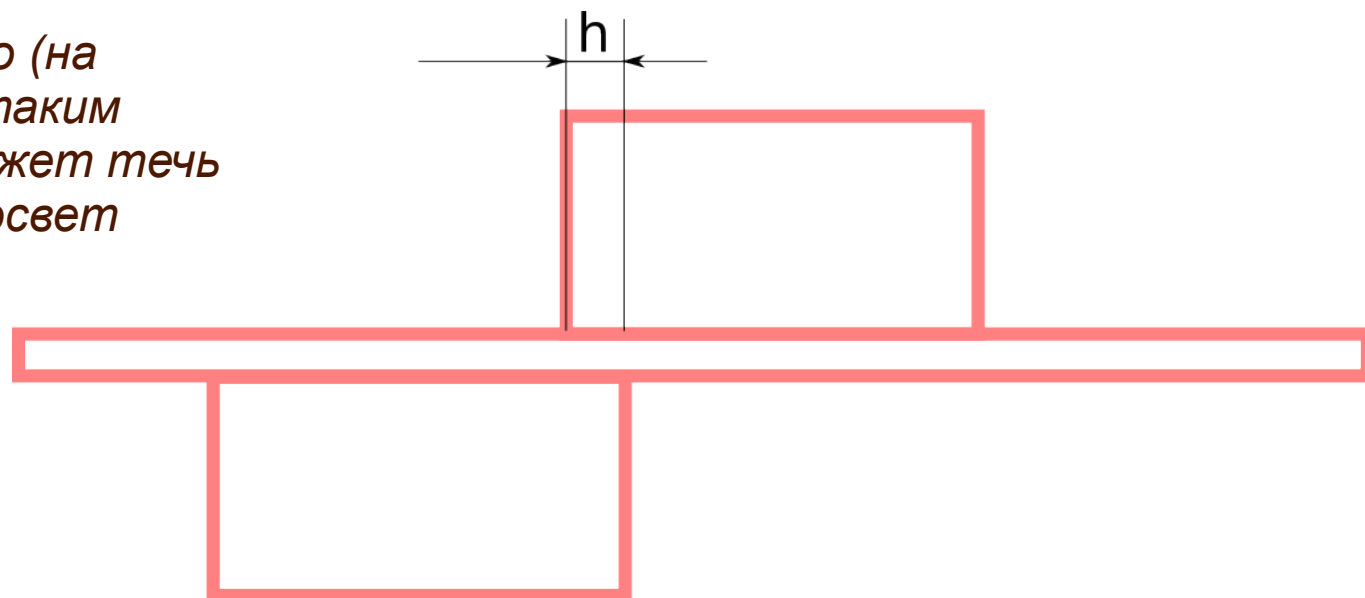
Рассматривается истечение через суживающееся отверстие в окнах клапана при различных степенях перекрытия h и агрегатных состояниях среды. Геометрические параметры следующие: $w=30\text{мм}$, $g=2\text{мм}$, $s=15\text{мм}$, $p=20\text{мм}$. Значения h трех вариантов: -3мм (схема снизу), 3мм , 15мм . Принципиальная схема для $h=3\text{мм}$ и 15мм представлена на следующем слайде. Задача рассматривается в двумерной постановке (плоскости XOY , вектор Z направлен на зрителя)





IV. МОДЕЛИРОВАНИЕ ОКОН КЛАПАНА — ГЕОМЕТРИЯ (2)

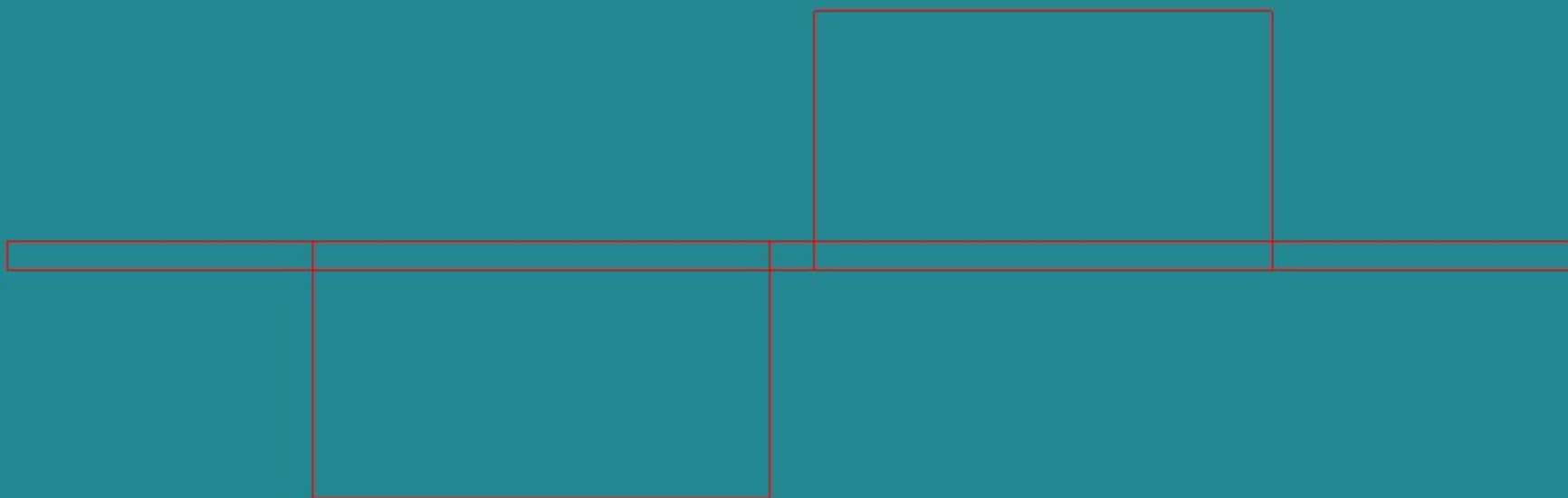
Верхнее окно клапана частично (на $h=3\text{мм}$) перекрывает нижнее, таким образом, что часть потока может течь напрямую через открытый просвет



Верхнее окно клапана на половину (на $h=15\text{мм}$) перекрывает нижнее, таким образом, что поток может течь напрямую через просвет

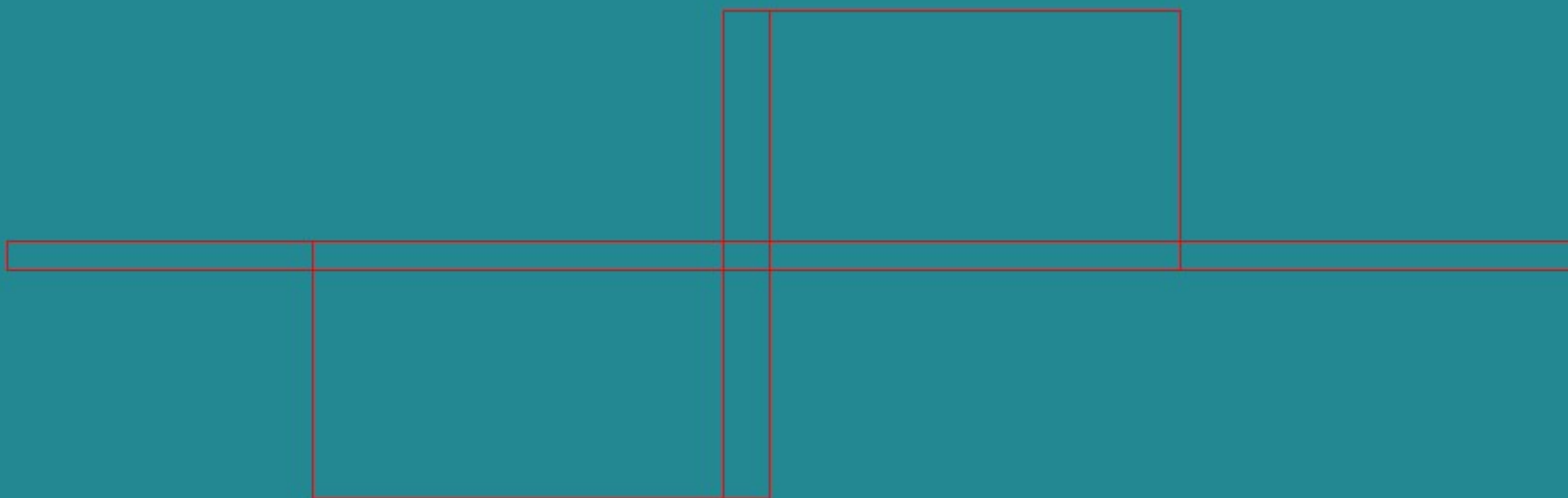


IV. МОДЕЛИРОВАНИЕ ОКОН КЛАПАНА — БЛОЧНАЯ ГЕОМЕТРИЯ (1)



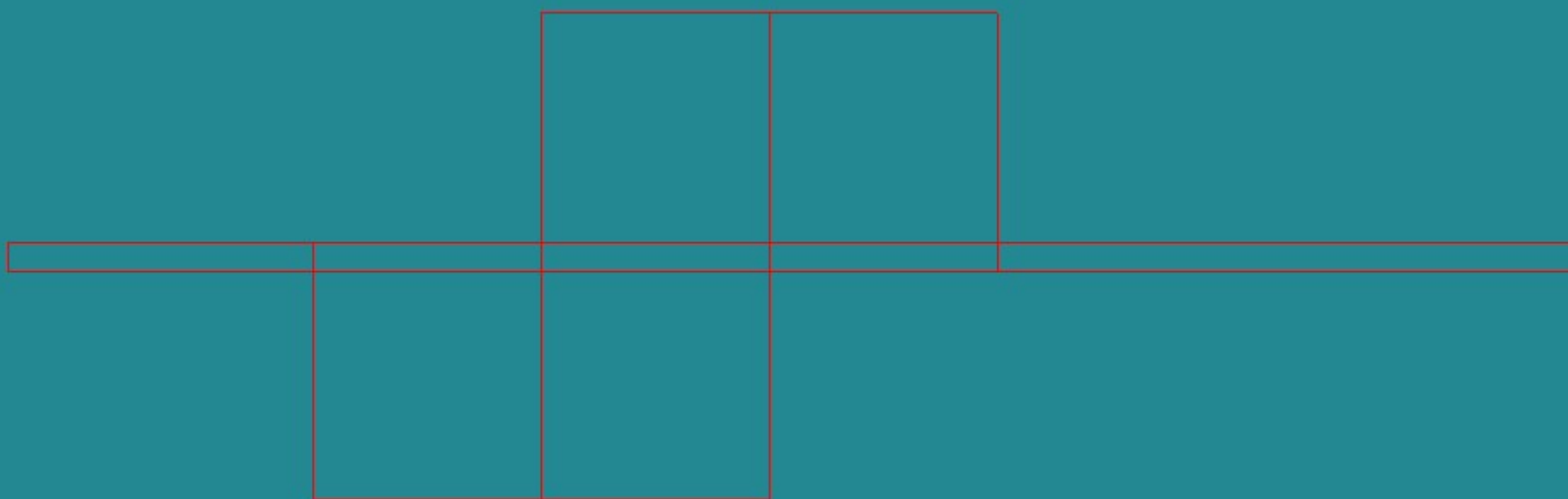


IV. МОДЕЛИРОВАНИЕ ОКОН КЛАПАНА — БЛОЧНАЯ ГЕОМЕТРИЯ (2)



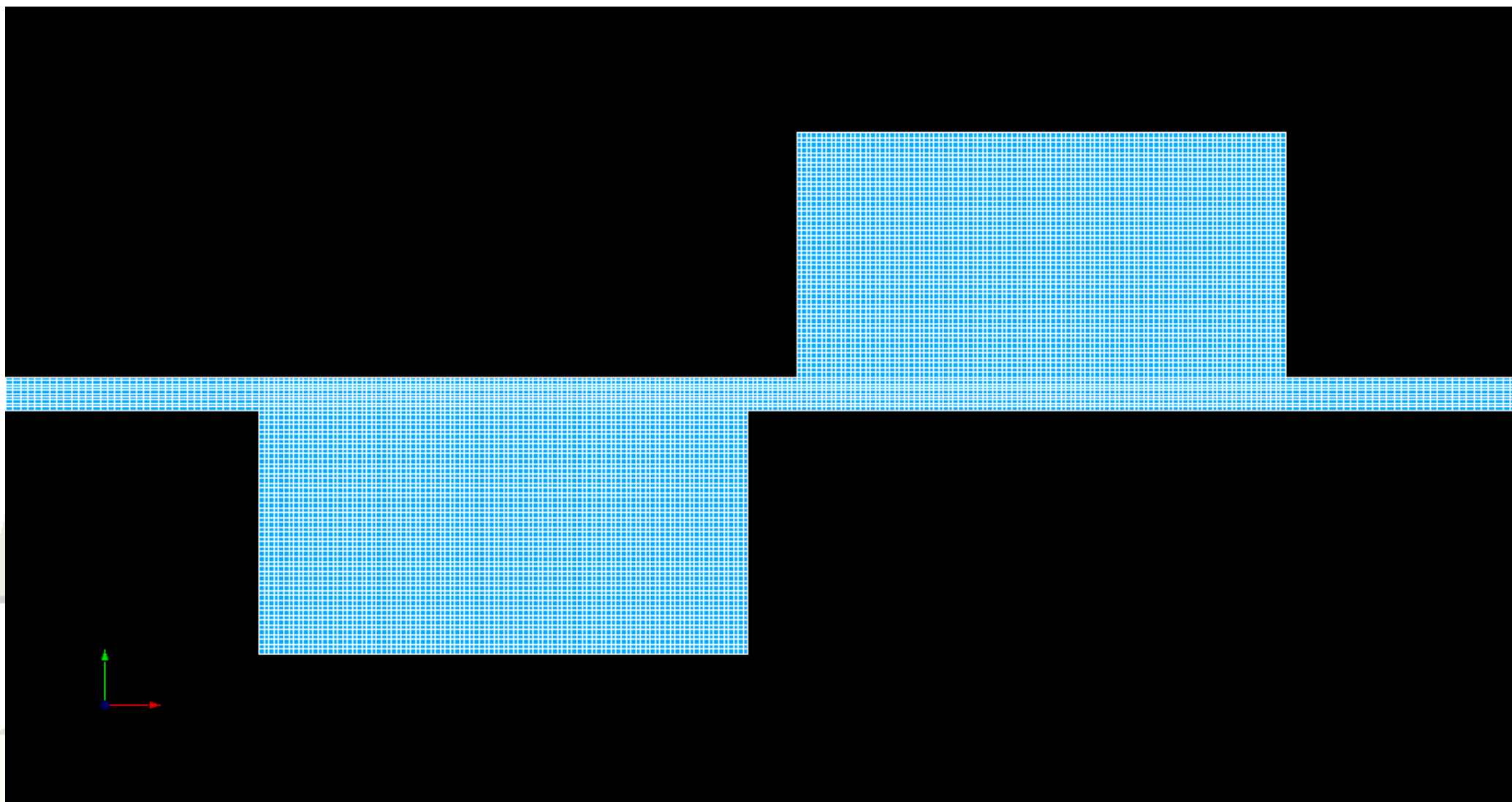


IV. МОДЕЛИРОВАНИЕ ОКОН КЛАПАНА — БЛОЧНАЯ ГЕОМЕТРИЯ (3)



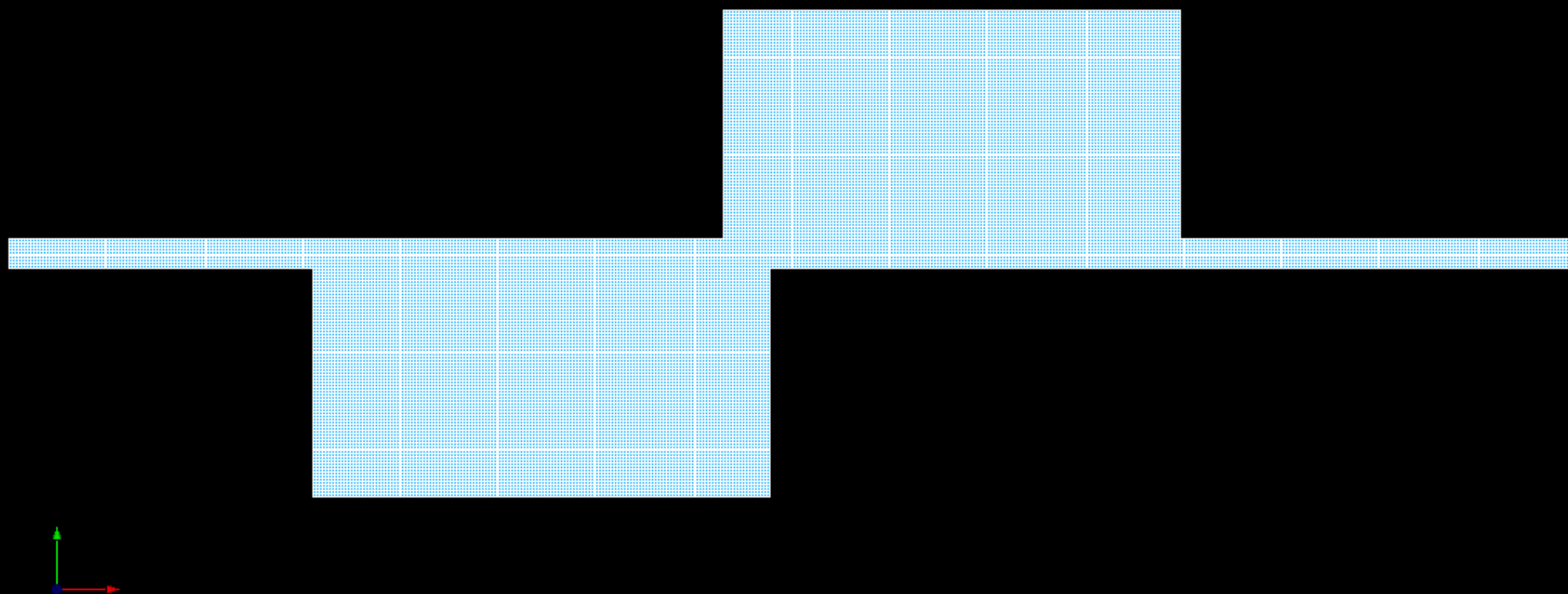


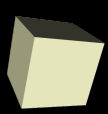
IV. МОДЕЛИРОВАНИЕ ОКОН КЛАПАНА — СЕТКА (1)



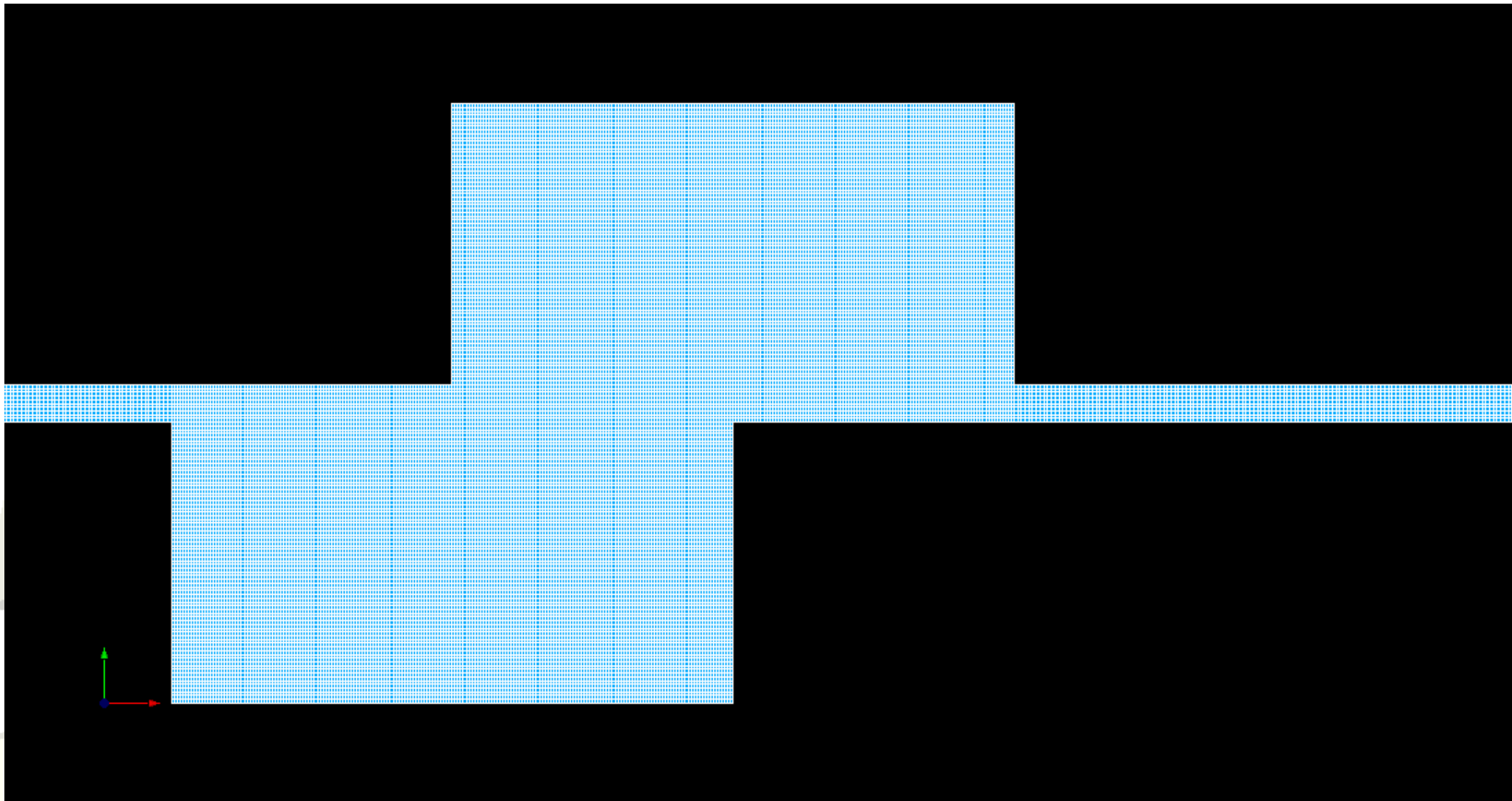


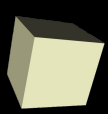
IV. МОДЕЛИРОВАНИЕ ОКОН КЛАПАНА — СЕТКА (2)





IV. МОДЕЛИРОВАНИЕ ОКОН КЛАПАНА — СЕТКА (3)



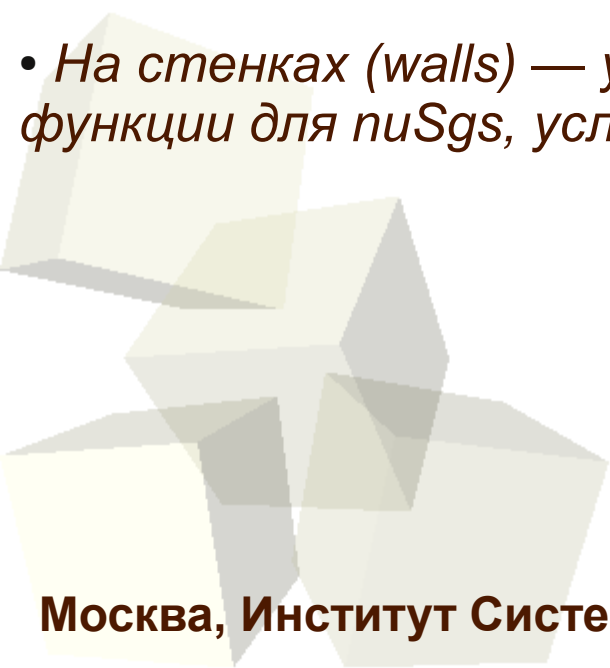


IV. МОДЕЛИРОВАНИЕ ОКОН КЛАПАНА — КРАЕВЫЕ УСЛОВИЯ (НЕСЖИМАЕМАЯ СРЕДА)

Невозмущенные поля давления (p), скорости (U), подсеточной вязкости. В нулевой момент времени $p=1000$, $U=(0\ 0\ 0)$, $\nu Sgs=0$

Граничные условия:

- На входе (inlet) — задается нулевой градиент скорости U , νSgs . Полное давление p (1000)*
- На выходе (outlet) — задается полное давление $p=0$, нулевые градиенты для U и νSgs*
- На стенках (walls) — условие прилипания для скорости, пристеночные функции для νSgs , условие непроницаемости для p*



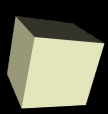


IV. МОДЕЛИРОВАНИЕ ОКОН КЛАПАНА — КРАЕВЫЕ УСЛОВИЯ (СЖИМАЕМАЯ СРЕДА)

Невозмущенные поля давления (p), скорости (U), температуры (T) подсеточной вязкости (μ_{Sgs}) и диффузии энтальпии (α_{Sgs}). В нулевой момент времени $p=1e+6$ Па, $U=(0\ 0\ 0)$, $\mu_{Sgs}=0$, $\alpha_{Sgs}=0$, $T=573$ К

Граничные условия:

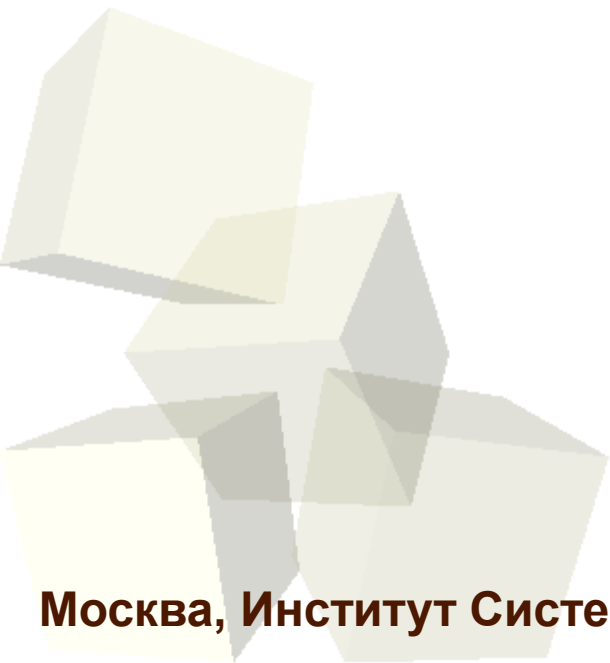
- На входе (inlet) — задается нулевой градиент скорости U , μ_{Sgs} . Полное давление p ($1e+6$), температура $T=573$ К
- На выходе (outlet) — задается волновое (waveTransmissive) условие для давления $p=100$ кПа, нулевые градиенты для U , T и μ_{Sgs}
- На стенках (walls) — условие прилипания для скорости, пристеночные функции для α_{Sgs} , μ_{Sgs} , условие непроницаемости для p , нулевой градиент для температуры (адиабатная стенка)

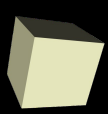


IV. МОДЕЛИРОВАНИЕ ОКОН КЛАПАНА — КОНСТАНТЫ МОДЕЛИ (НЕСЖИМАЕМАЯ СРЕДА)

Для моделирования выбирается LES-метод, с моделированием подсеточной вязкости по алгебраической модели Смагоринского.

Молекулярная кинематическая вязкость принимается равной $1e-5$ (воздух)

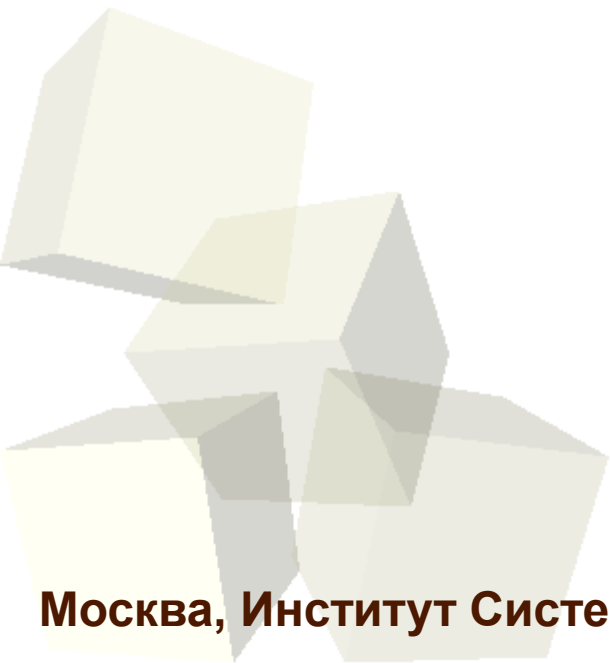


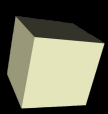


IV. МОДЕЛИРОВАНИЕ ОКОН КЛАПАНА — КОНСТАНТЫ МОДЕЛИ (СЖИМАЕМАЯ СРЕДА)

Для моделирования выбирается LES-метод, с моделированием подсеточной вязкости по алгебраической модели Смагоринского.

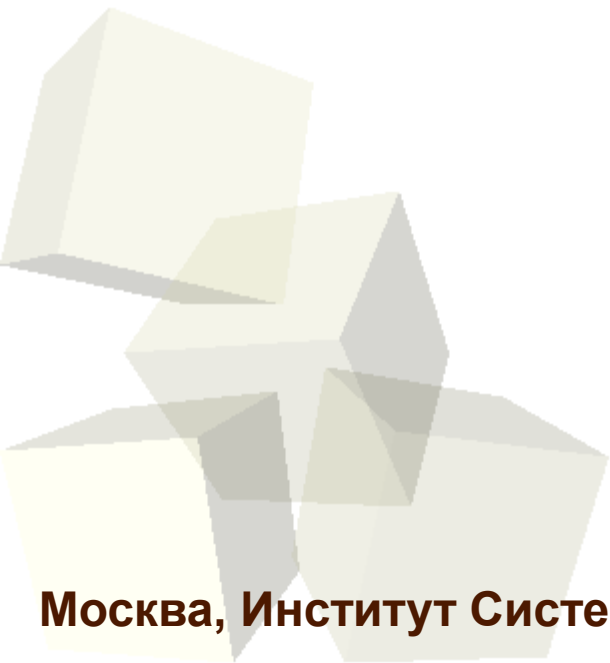
Теплофизические свойства выбираются соответствующими воздуху (constant/thermophysicalProperties)





IV. МОДЕЛИРОВАНИЕ ОКОН КЛАПАНА — ПАРАМЕТРЫ СЧЕТА (НЕСЖИМАЕМАЯ СРЕДА)

Проводится нестационарный расчет средствами `risoFoam`. Шаг по времени — $1e-6$ — $1e-5$ с (в зависимости от задачи), запись в файл — каждые 1000 шагов ($1e-2$ с). Используется второй порядок точности интегрирования по времени (`backward`)

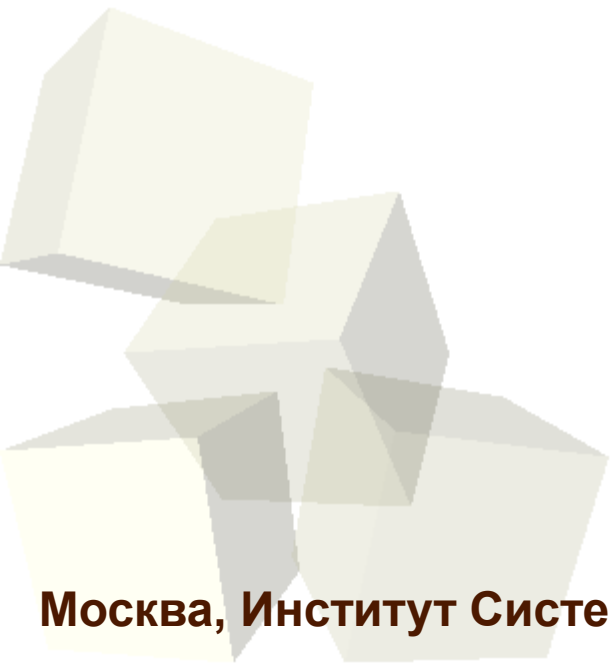




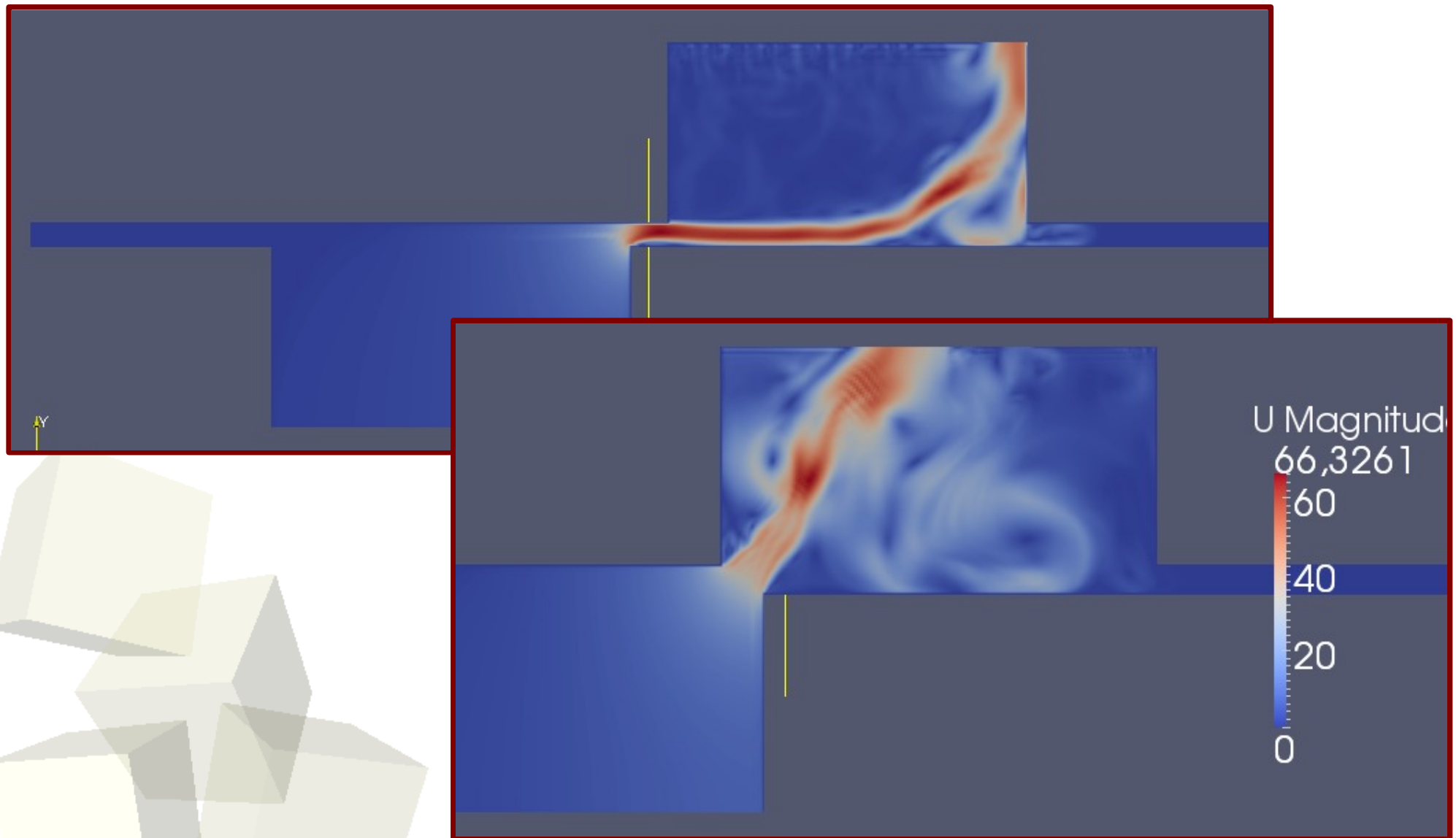
IV. МОДЕЛИРОВАНИЕ ОКОН КЛАПАНА — ПАРАМЕТРЫ СЧЕТА (СЖИМАЕМАЯ СРЕДА)

Проводится нестационарный расчет средствами `rhoPisoFoam`. Шаг по времени — $1e-8$ — $1e-7$ с (в зависимости от задачи), запись в файл — каждые 1000 шагов ($1e-4$ с). Используется второй порядок точности интегрирования по времени (`backward`).

Для того, чтобы учесть сверхзвуковое истечение, следует включить переключатель `transonic` (раздел `PISO` файла `system/fvSolution`) в положение `true`;



IV. МОДЕЛИРОВАНИЕ ОКОН КЛАПАНА — РЕЗУЛЬТАТЫ (НЕСЖИМАЕМАЯ СРЕДА)



IV. МОДЕЛИРОВАНИЕ ОКОН КЛАПАНА — РЕЗУЛЬТАТЫ (СЖИМАЕМАЯ СРЕДА)

