

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СМЕШЕНИЯ РАЗНОТЕМПЕРАТУРНЫХ СТРУЙ МЕТОДОМ «САВАРЕТ».

Зайцев А.М, аспирант 3 года ИБРАЭ РАН

Научный руководитель: д.ф.-м.н. проф. МГУ Головизнин В.М.

Институт проблем безопасного развития атомной энергетики
РАН

План

- Описание программного комплекса SAVARET
- Тестирование на задаче об истечении затопленной струи
- Задача о смешивании разнотемпературных струй

Введение

- Экспериментально определить точные частотные характеристики потока иногда невозможно, поэтому используются теоретические методы.
- К таким методам можно отнести методы вычислительной гидродинамики, основанные на проведении вычислений на суперкомпьютерах.
- При использовании высокоточных схем, к числу которых относится схема «КАБАРЕ», задачи требуют использования очень подробных сеток, и, как следствие – многопроцессорных вычислительных комплексов.
- Для большого числа расчетных точек в математической модели, значительного количества процессоров кластерной системы и сложной программы расчета требуется создание набора уникальных методик, объединенных в технологию проведения вычислений.

Описание программного комплекса «САВАРЕТ»

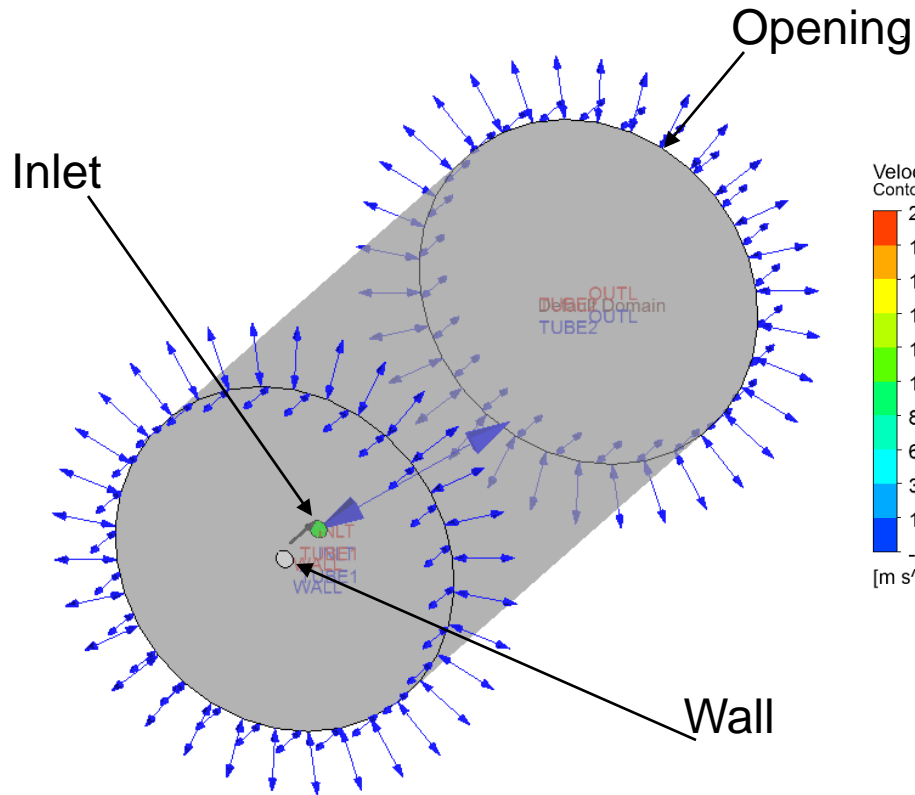
1. Решается нестационарная задача теплогидравлики методом установления.
2. Основные характеристики расчета – коэффициенты сопротивления и спектральные характеристики интересующих величин.
3. Окончание расчета определяется по стабилизации средних значений определяющих параметров расчета.
4. Время обработки миллиона элементов колеблется от 6 до 20 секунд .
5. Число шагов до установления до 100000.
6. Для сеток до 40 миллионов элементов потребная оперативная память составляет 1.2 гигабайта на миллион элементов.
7. Часть расчетов может быть выполнена на половине или четверти расчетного объема с применением плоскости симметрии.

Подготовка сеток и их декомпозиция для параллельных вычислений

1. Сетки могут быть созданы в любом из пакетов подготовки данных CFD.
2. Сетки генерируются в Gambit 2.4.6 с выводом данных в формате Fluent.
3. Данные в формате Fluent считываются специализированной программой, входящей в пакет OpenFOAM и в последующем декомпозируются на необходимом количестве процессоров.
4. Потребная оперативная память для декомпозиции составляет 0.5 Гб на миллион элементов.
5. Доступные декомпозиции включают в себя методы simple, scotch и metis.

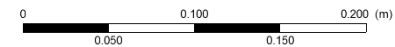
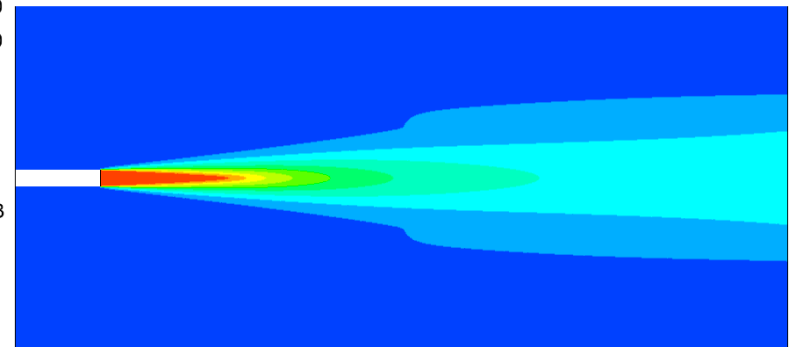
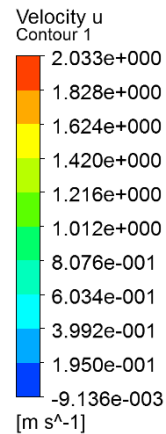
Истечение затопленной струи

2 031 360 Гексагональных ячеек

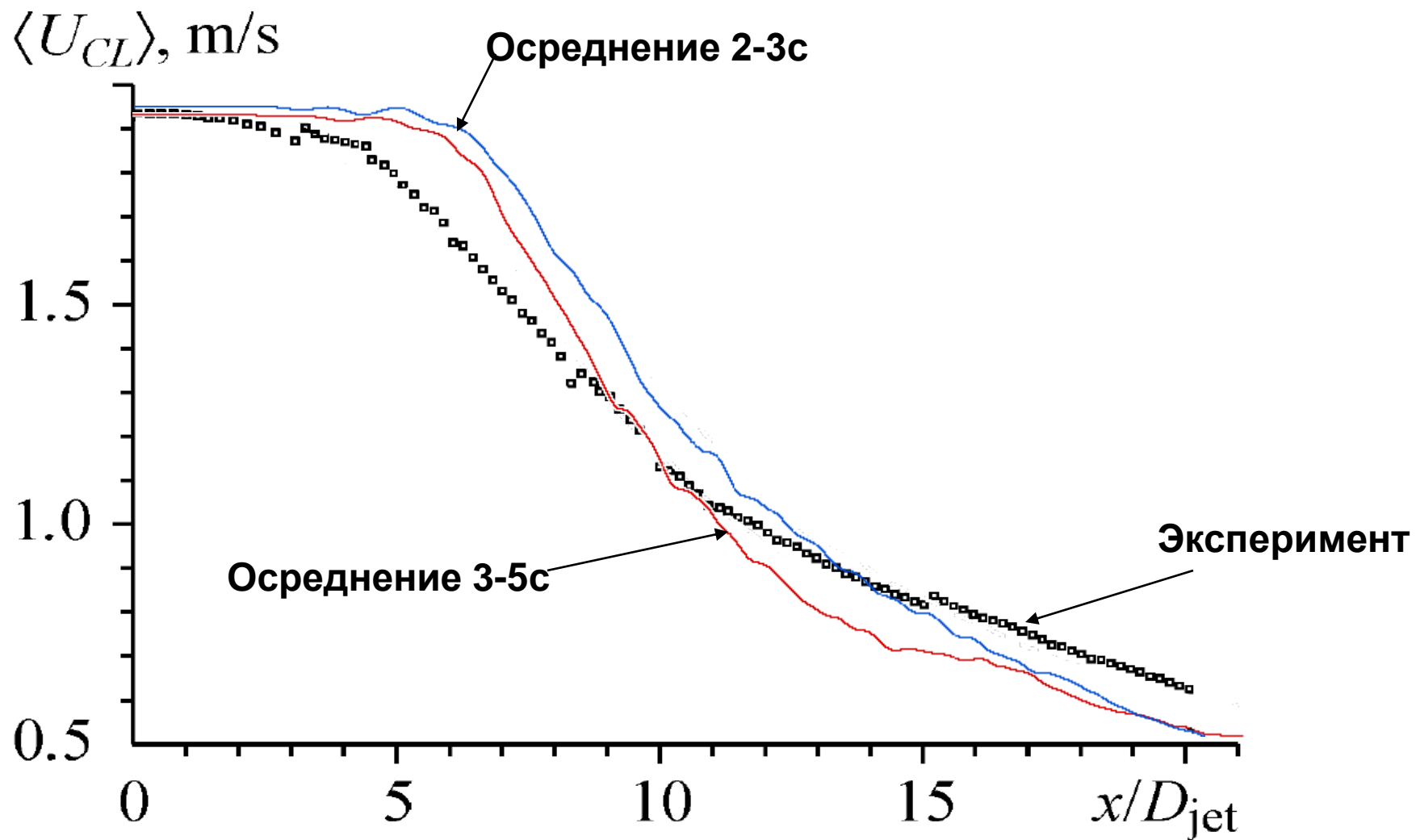


$V(\text{inlet})=1.9 \text{ м/с}$

Результат по CFD

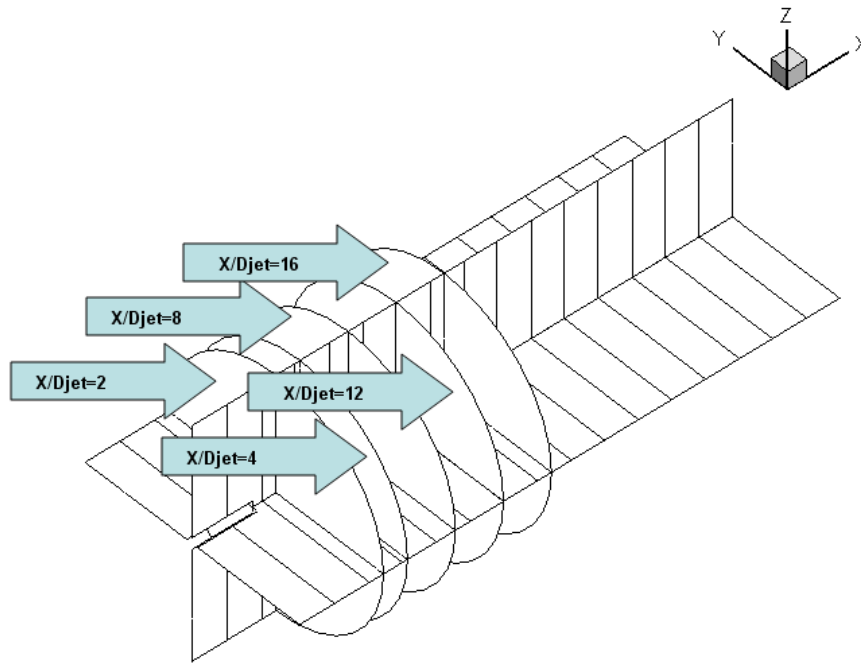
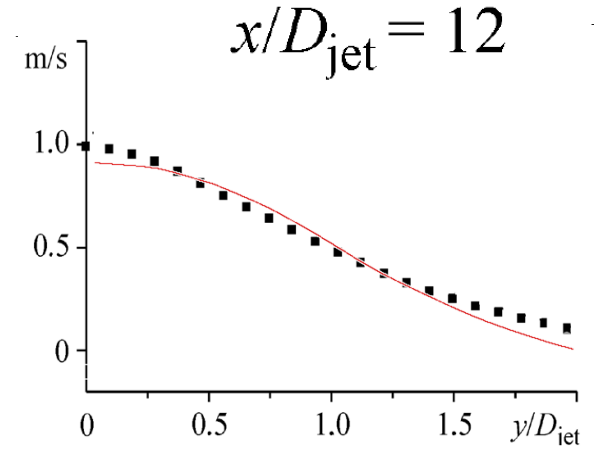
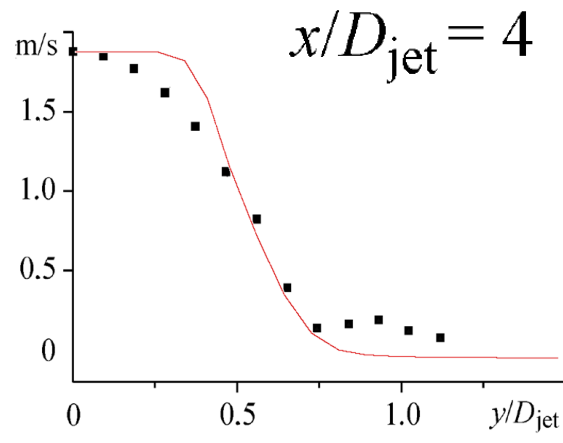
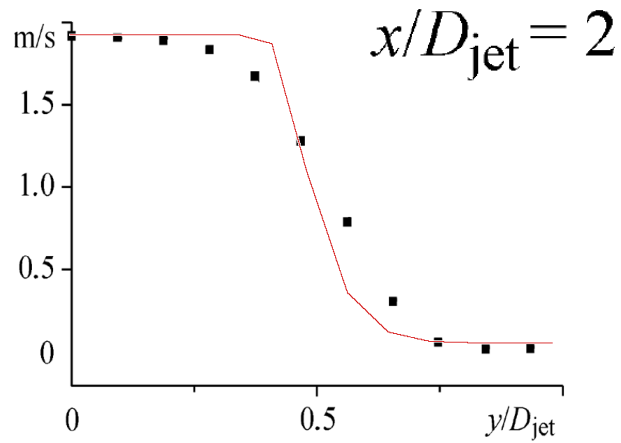


Средняя осевая скорость



Средняя радиальная скорость

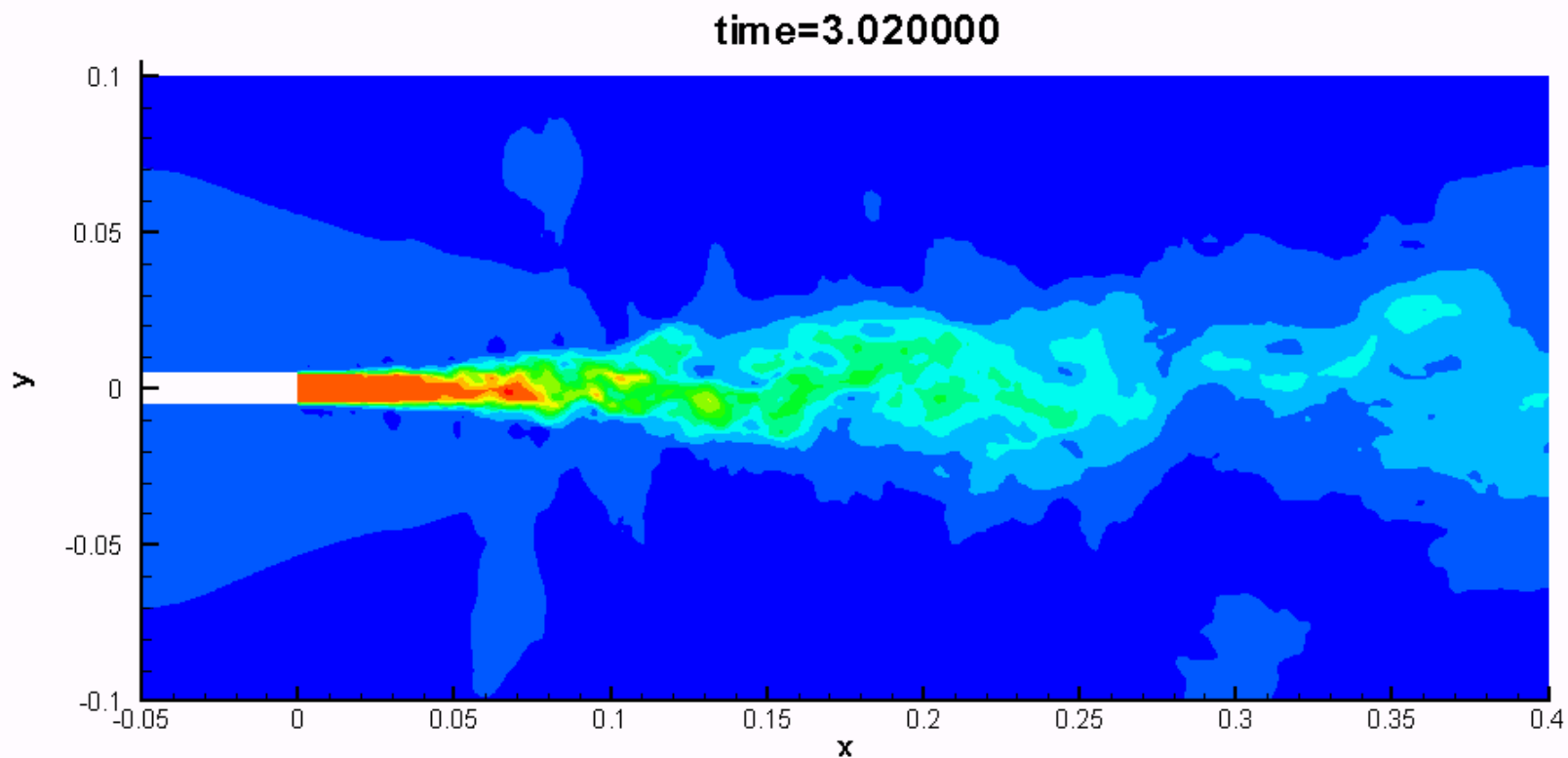
Осреднение 3-5с



■ Эксперимент

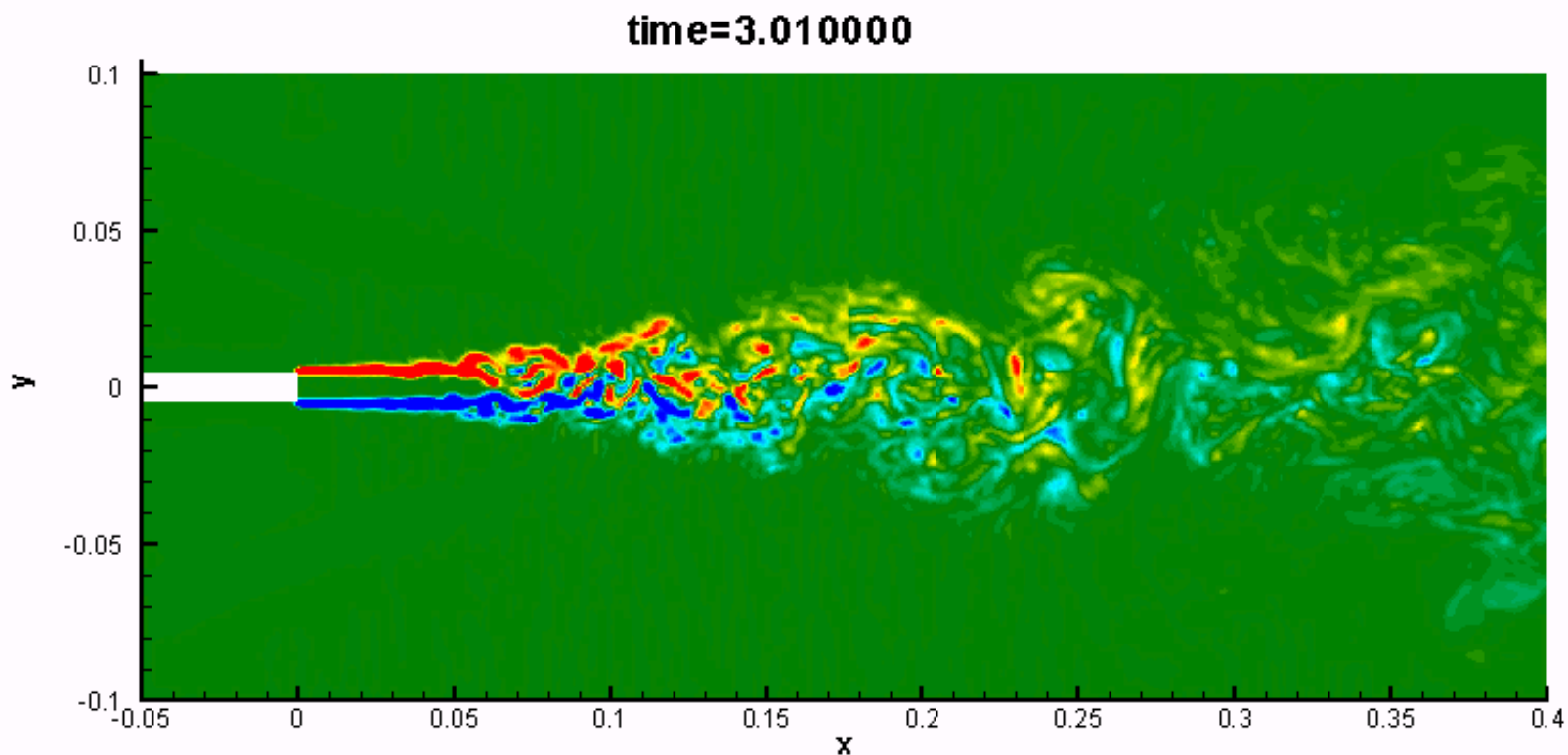
Анимация скорости

Результат по Cabaret



Анимация завихренности

Результат по Cabaret



Смешение разнотемпературных струй

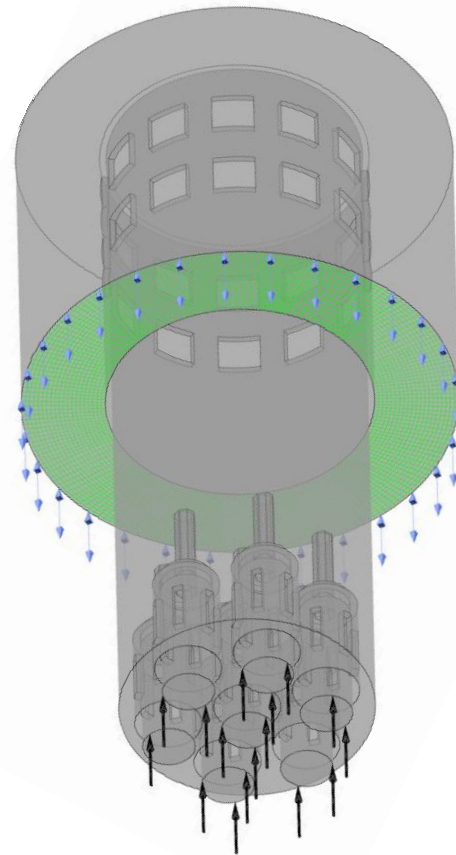
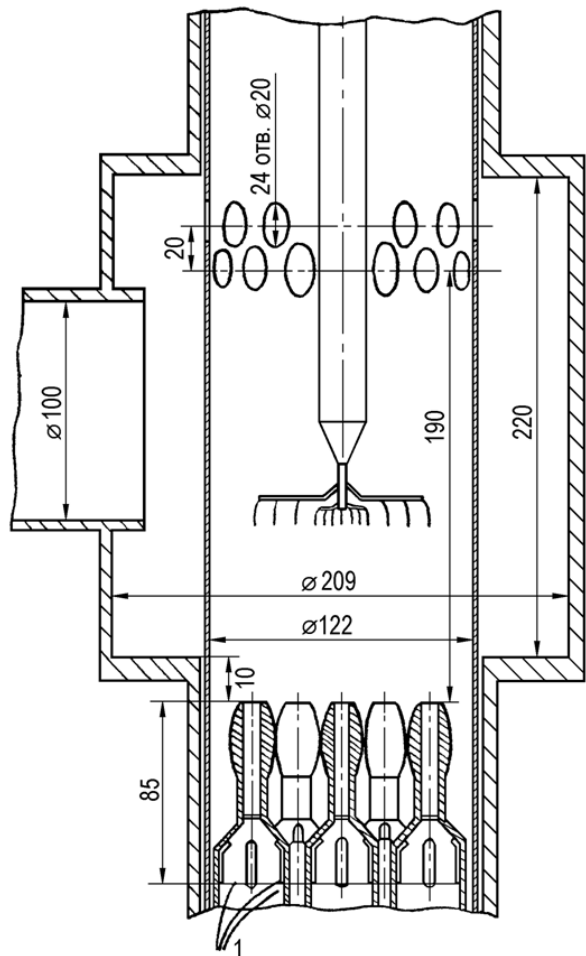


Рисунок 1 Геометрия экспериментальной модели.
Натрий поступает в коллектор снизу через головки ТВС (1) и выходит через верхние отверстия в сборную камеру.

Постановка задачи

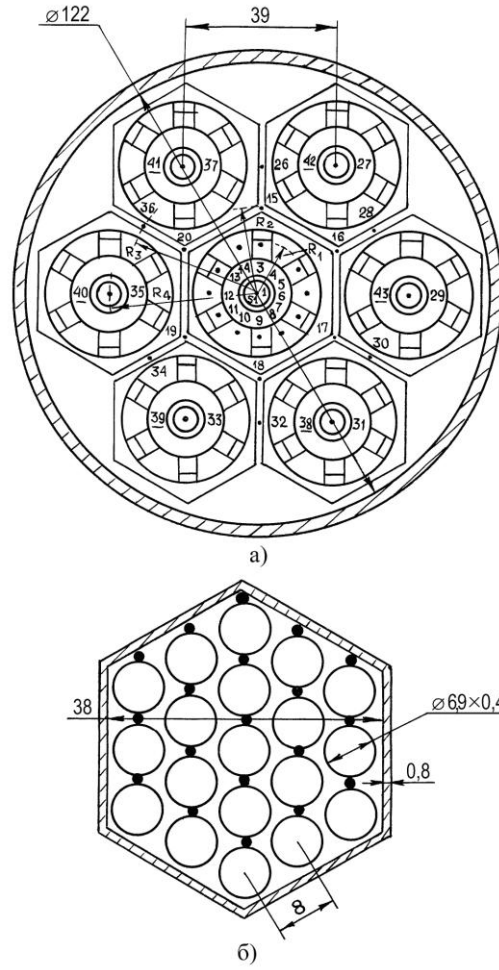
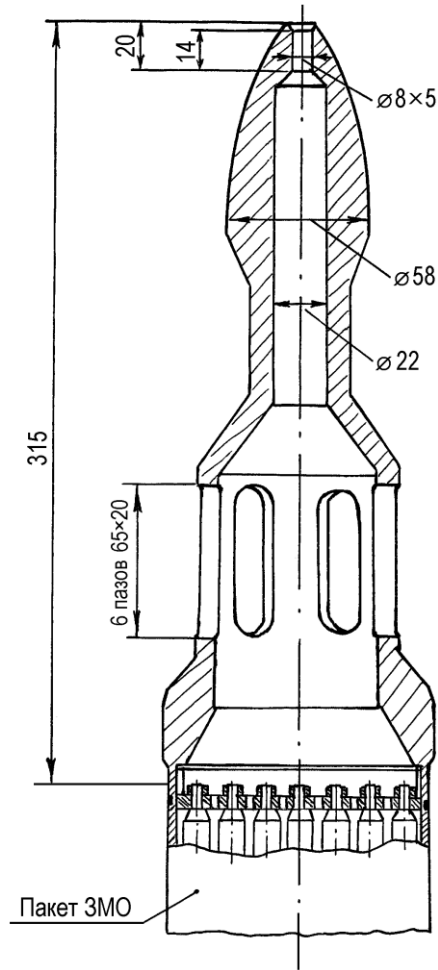


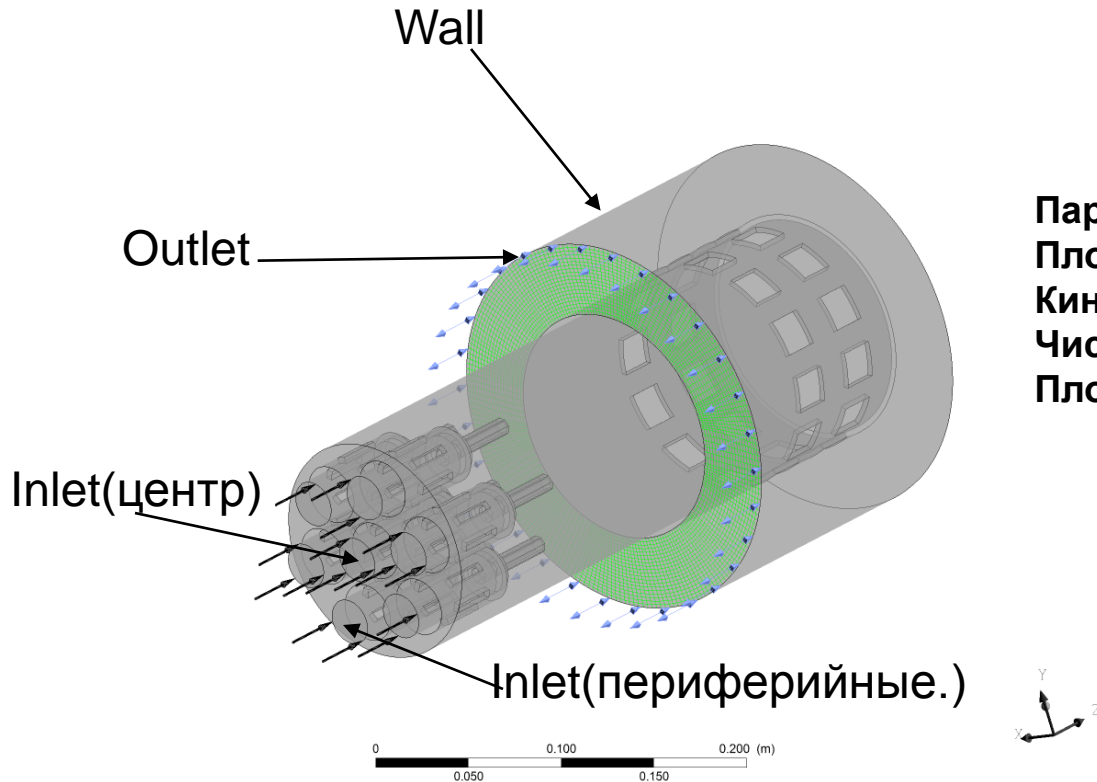
Рисунок 2 Головка модели ТВС реактора.

Теплоноситель поступает снизу через пучок стержней – имитаторов твэлов.

Рисунок 3 Сечение модели (а)

и модели ТВС (б):

Геометрия модели. Граничные условия

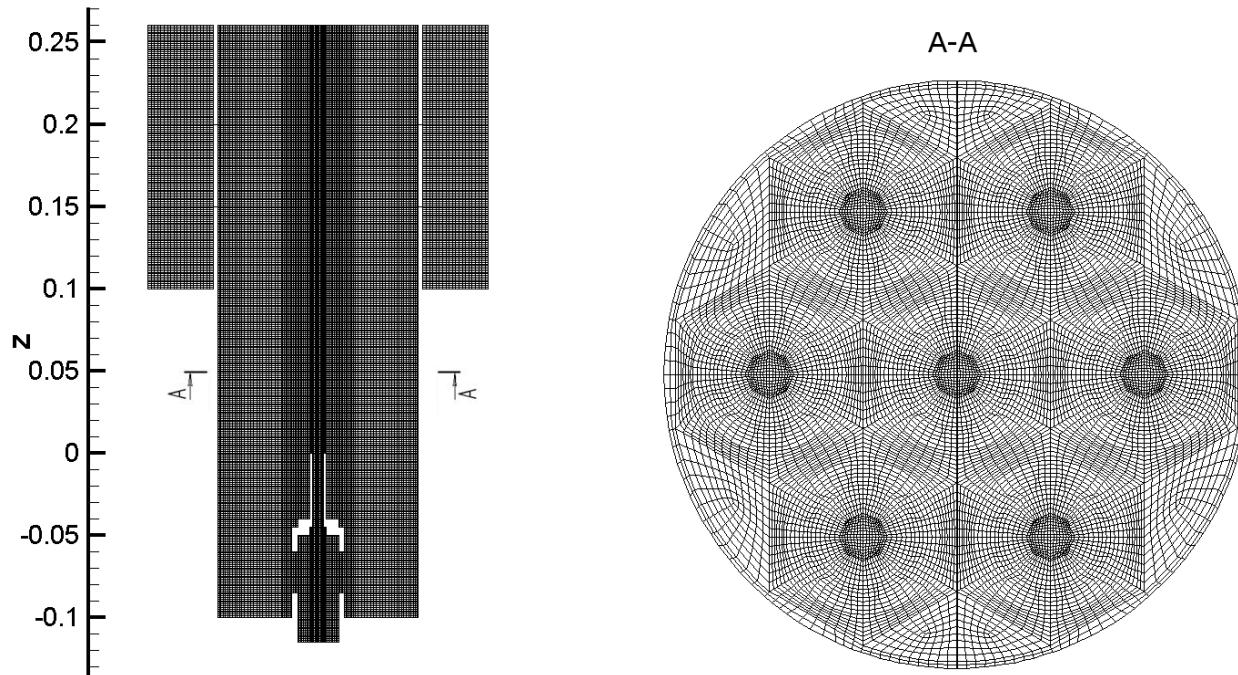


Параметры расчета следующие:
Плотность 904 кг/м³,
Кинематическая вязкость $0.5 \cdot 10^{-6}$,
Число Прандтля 0.0077
Площадь входных отверстий $\sim 5 \cdot 10^{-4}$.

Рисунок 4 Геометрия расчетной модели экспериментальной камеры.

Температура на входе в центральном устройстве 148.1С, скорость 0.94
Температура в периферийных устройствах 122.5С, скорость 0.96.

Вид сетки

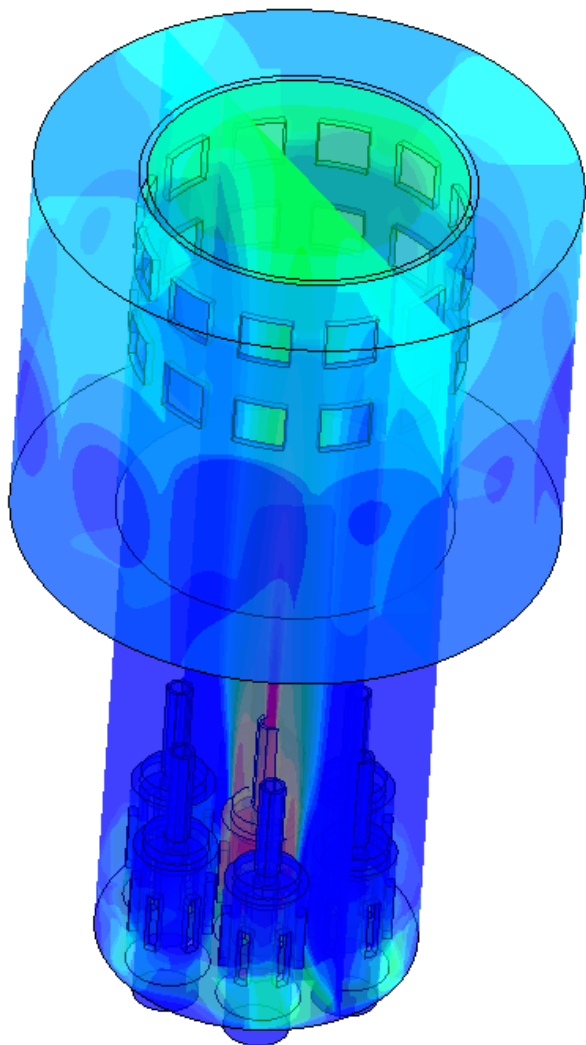


4.6 млн. ячеек

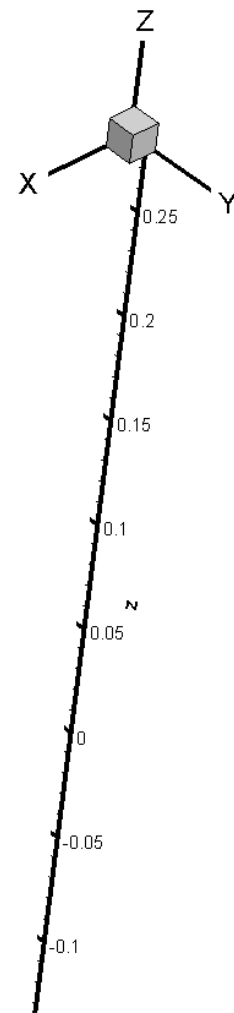
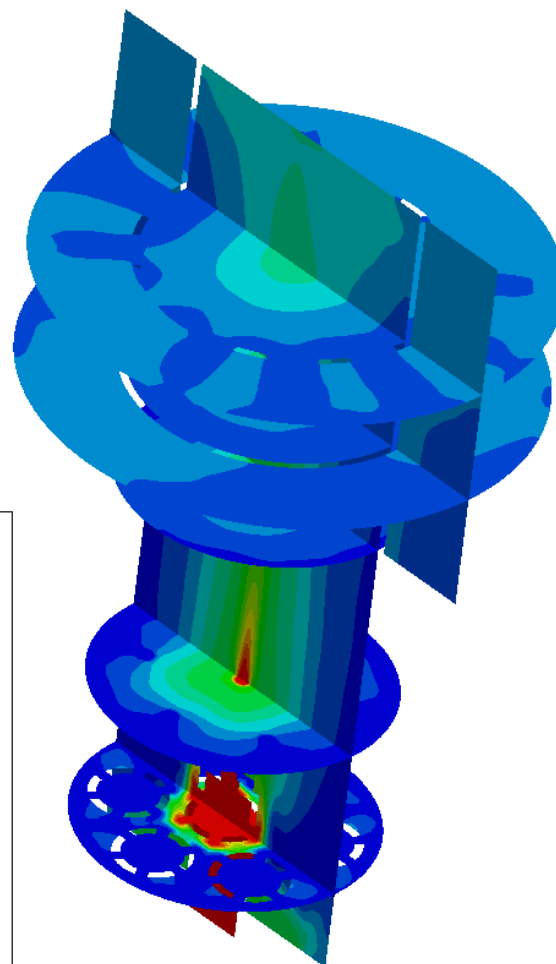
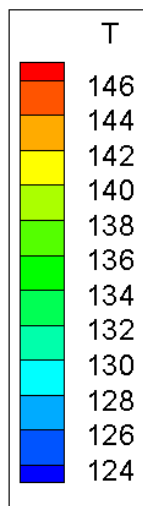
Рисунок 5 Вид сетки в вертикальном и горизонтальном сечении.

Результаты моделирования смешения разнотемпературных струй

Решение по CFD



Решение по Cabaret



Осреднение проводилось по интервалу 4-12.5 секунды.

Результаты моделирования смешения разнотемпературных струй

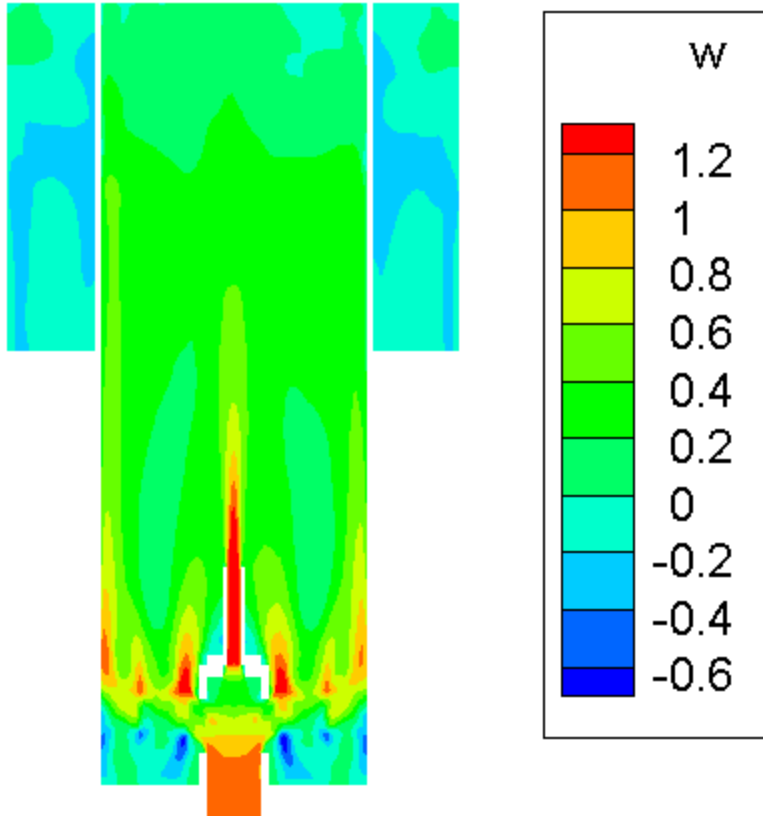


Рисунок 6

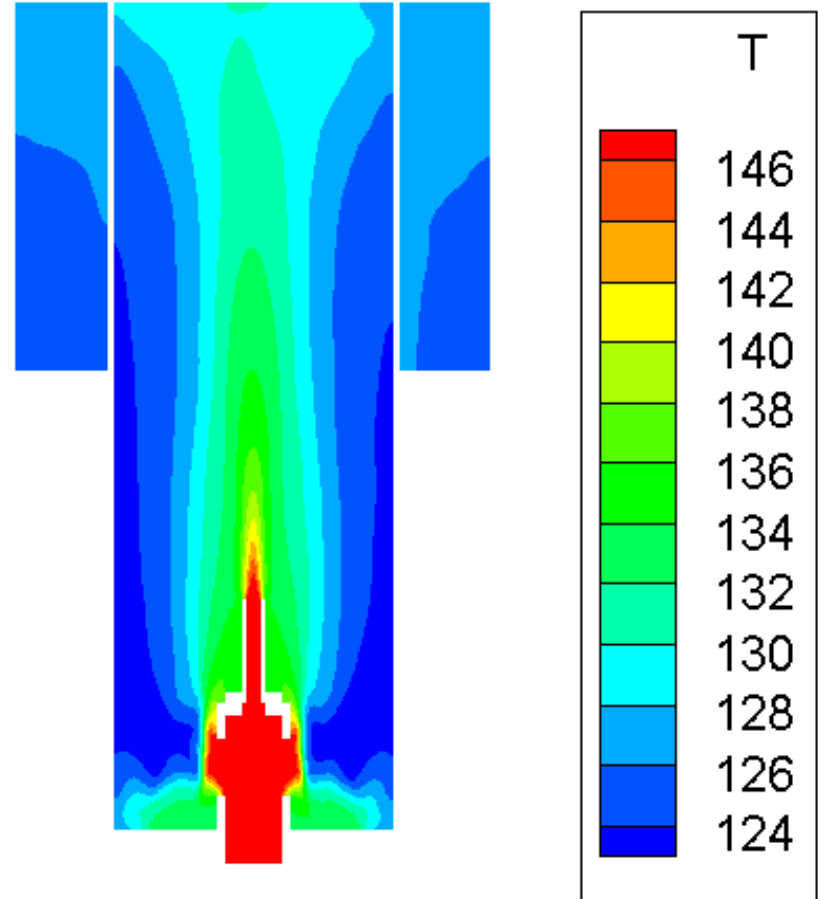


Рисунок 7

Распределение средних значений осевой компоненты скорости. Распределение средних значений температуры.

Сравнение с экспериментом

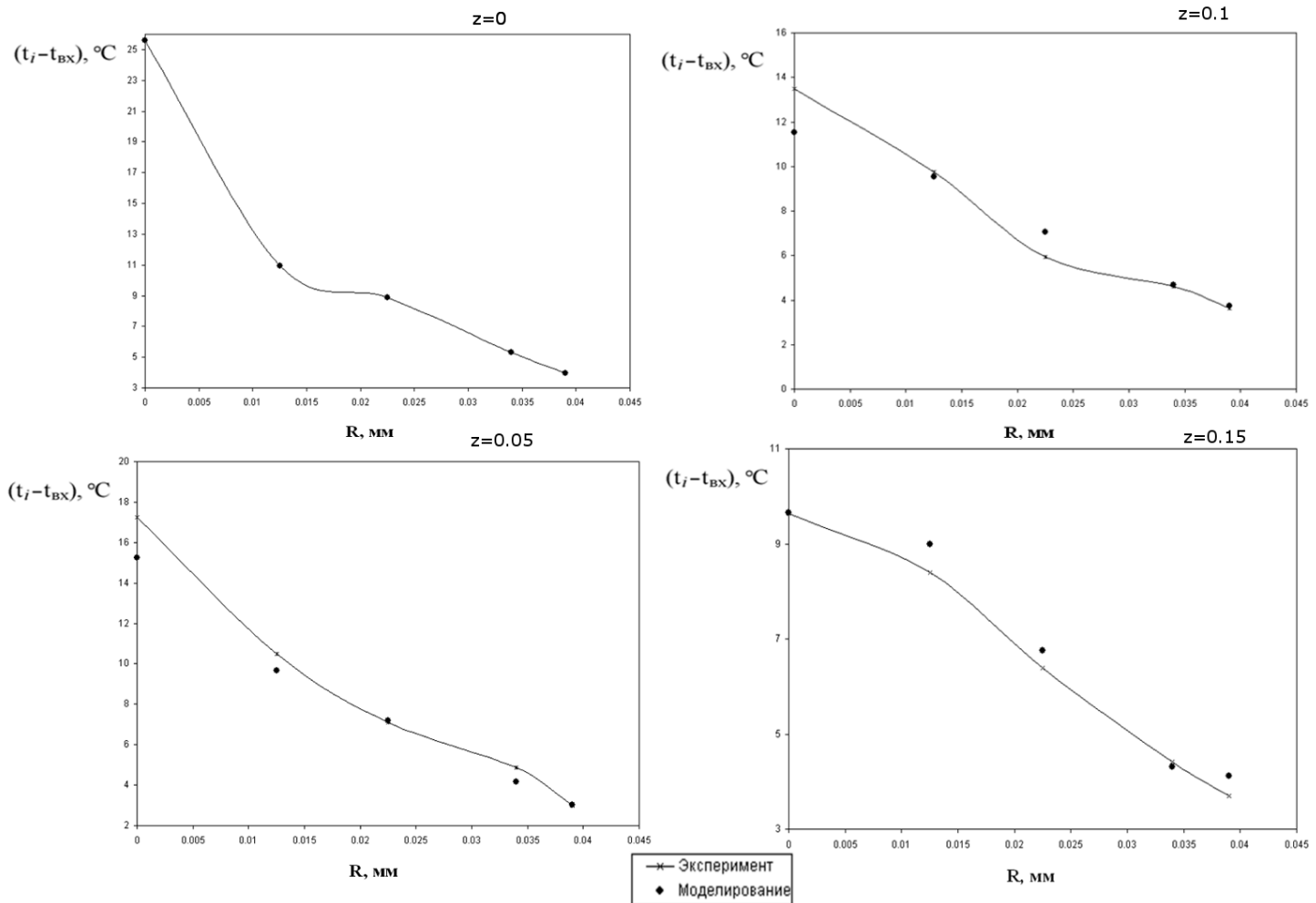
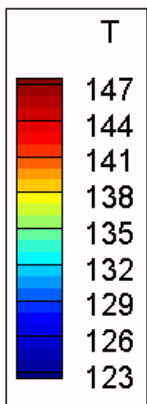
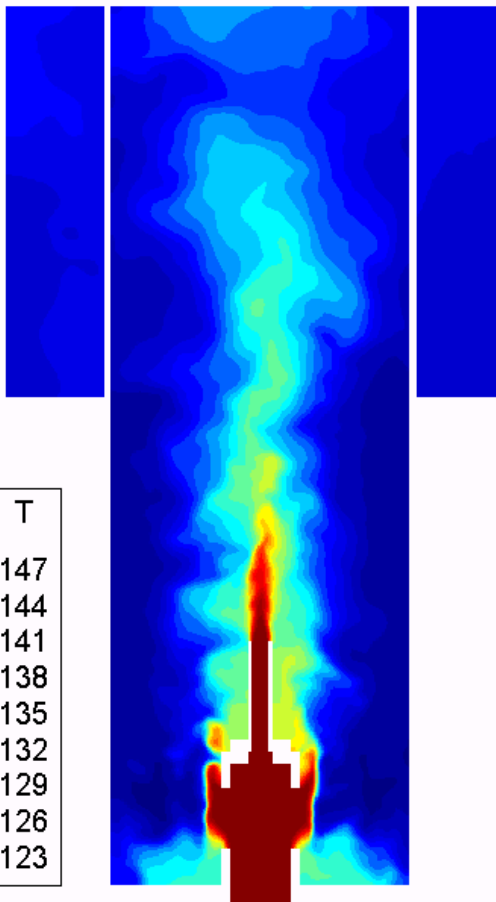


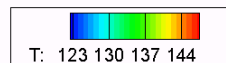
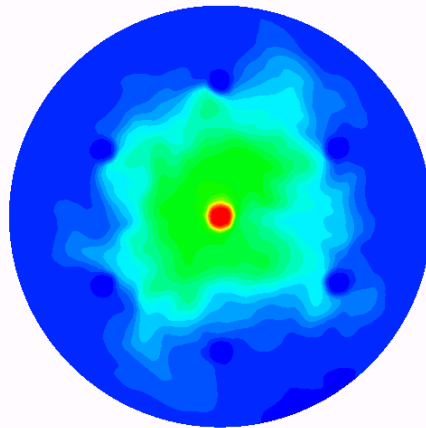
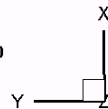
Рисунок 8 Разницы температур в зависимости от удаления от центра струи в сечении $z=0, 0.05, 0.1$ и 0.15 ;

Анимация температуры

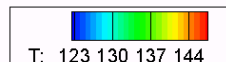
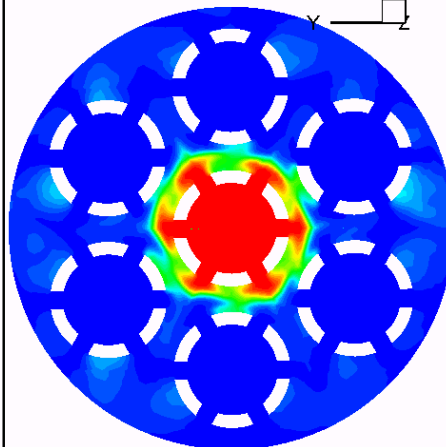
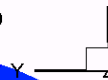
time=4.020000



time=4.020000



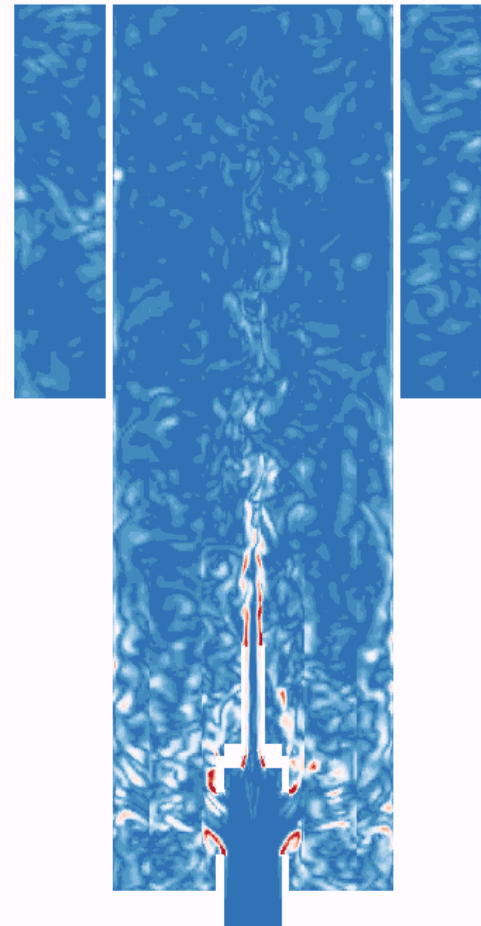
time=4.020000



Анимация модуля завихренности

модуля завихренности

time=4.020000



Выводы

1. Методика “CABARET” может быть распространена и на задачи моделирования неизотермических течений жидкостей с малым числом Прандтля, т.е., жидких металлов в областях со сложной геометрией.
2. Показано хорошее соответствие с экспериментом результатов расчета средней температуры в разных точках модели.

Спасибо за внимание

Спектры в центре центрального и периферийных устройствах

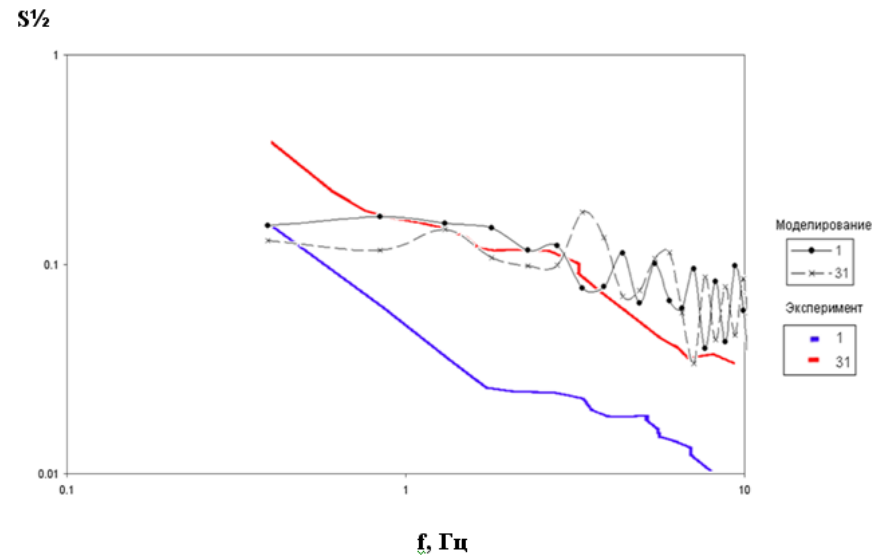


Рисунок 10
Спектры температур в точках 1, 31 $z=0$;

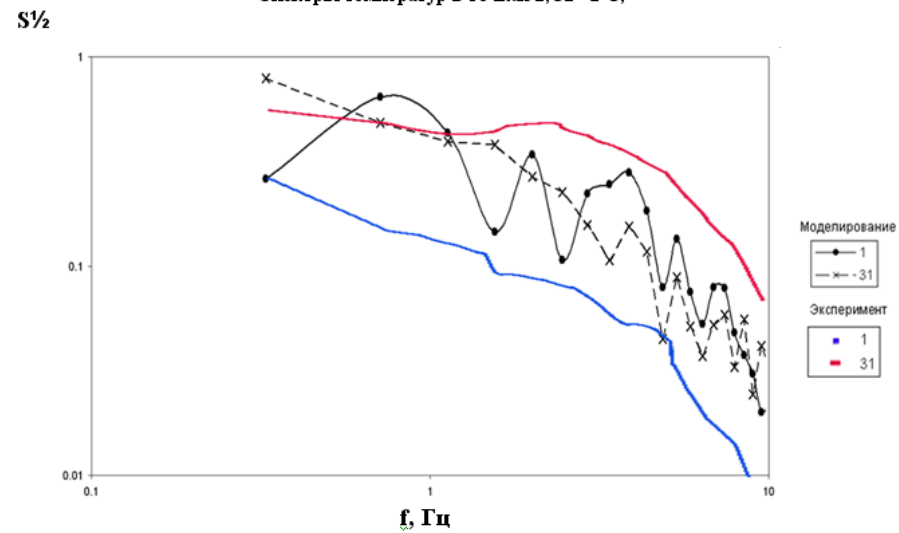


Рисунок 11
Спектры температур в точках 1, 31 $z=0.2$;