

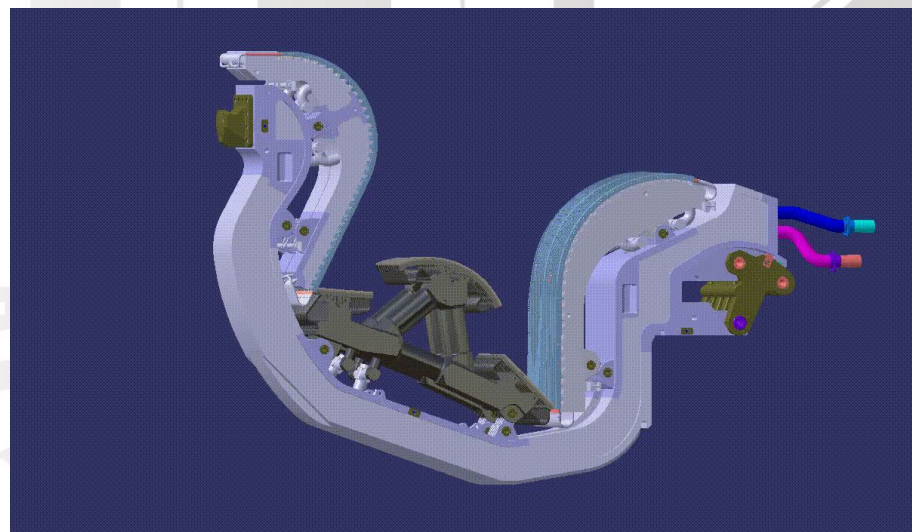
Магистерская диссертация

«Численный расчёт температурных полей на
поверхности макета моноблока дивертора ИТЭР
при высоких тепловых нагрузках»

Студент гр.ТФ-13м-17 Семашкин Д.Ю.
Научный руководитель проф. Будаев В.П.

Цель работы:

Численный расчет температурных полей по поверхности макета моноблоков дивертора ИТЭР под воздействием высокоинтенсивных стационарных и импульсных тепловых нагрузок ($10 \div 20 \text{ МВт/м}^2$)



Структура работы:

- Расчёт контура распределения температурных полей макета моноблоков дивертора ИТЭР под воздействием высокоинтенсивного стационарного и импульсного теплового потока с помощью программного пакета ANSYS Fluent
- Обработка результатов испытания зоны №3 полностью вольфрамового обращенного к плазме компонента внешней вертикальной мишени полномасштабного прототипа W-TA-OT-PROTO-1
- Сравнение результатов теплогидравлического анализа на базе расчётной модели и результатов теплового картирования прямого ОПК зоны №3



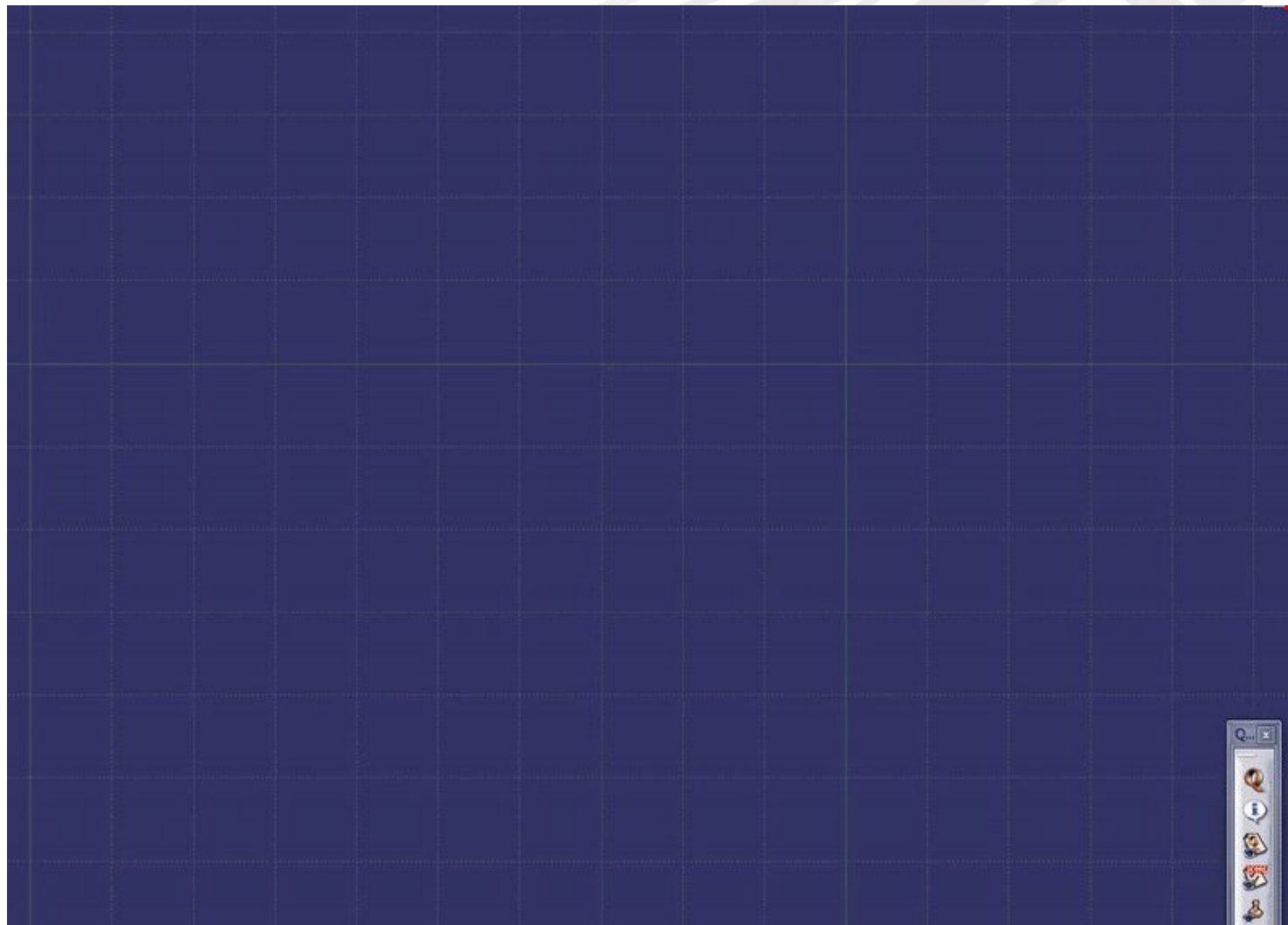
Расчёт контура распределения температурных полей макета моноблоков дивертора ИТЭР

Основные этапы задачи моделирования

1. Создание CAD-модели исследуемого изделия
2. Создание сеточной модели расчётной зоны на базе геометрической
3. Создание расчётной модели из сеточной путём наложения расчётных условий
4. Поиск решения
5. Представление результатов расчёта

Расчёт контура распределения температурных полей макета моноблоков дивертора ИТЭР

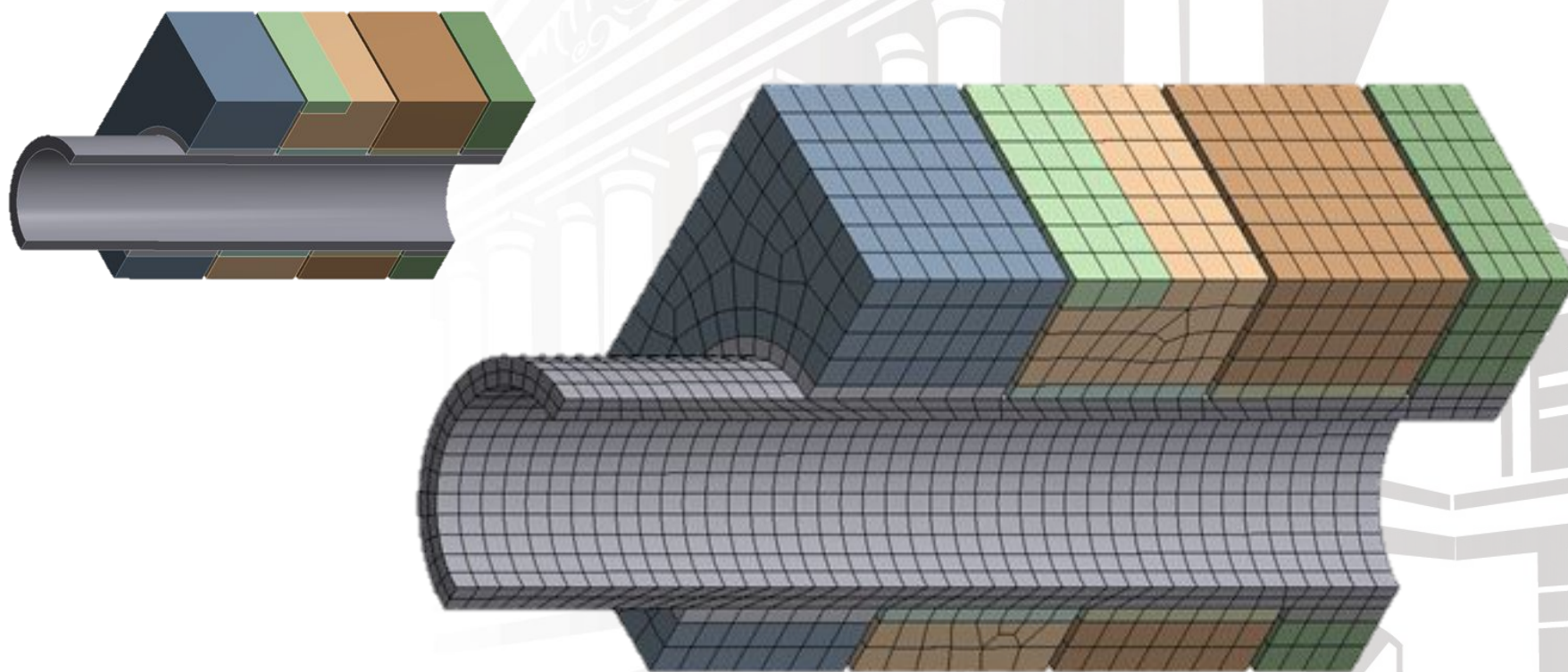
Создание CAD-модели





Расчёт контура распределения температурных полей макета моноблоков дивертора ИТЭР

Создание сеточной модели расчётной зоны на базе геометрической



Расчёт контура распределения температурных полей макета моноблоков дивертора ИТЭР

Создание расчётной модели из сеточной путём наложения расчётных условий

- Для каждого локального элемента записывается система законов сохранения массы, импульса и энергии в интегральной форме, которая затем преобразуется к системе алгебраических уравнений относительно искомых величин в центрах расчётных ячеек.

В общем виде ЗС можно записать:

$$\frac{d}{d\tau} \int_V \rho \varphi dV + \oint_A \rho \varphi U dA = \oint_A \Gamma_\varphi \nabla \varphi dA + \int_V S_\varphi dV$$

Расчёт контура распределения температурных полей макета моноблоков дивертора ИТЭР

Задание уравнений математической модели

- Уравнения теплопроводности без наличия тепловыделения в объеме
- Уравнения движения
- Уравнения неразрывности
- Уравнение теплообмена излучением
- Уравнение для массовой плотности турбулентной энергии
- Уравнение для скорости диссипации турбулентной энергии

Полиномами задаются теплофизические свойства конструкционных материалов: плотность, теплопроводность, изобарная теплоемкость

Задаются начальные и граничные условия:

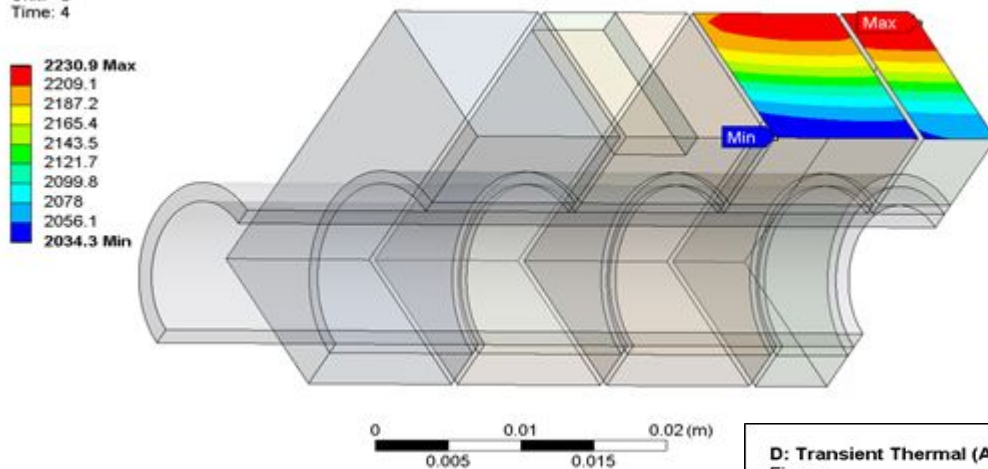
$$\bar{w} = 11 \frac{\text{м}}{\text{с}}, \quad T = 70^\circ\text{C}, \quad p = 3,9 \text{ МПа}$$

$$q = 2 \cdot 10^7 \frac{\text{МВт}}{\text{м}^2}, \quad \epsilon = 0,4$$

Расчёт контура распределения температурных полей макета моноблоков дивертора ИТЭР

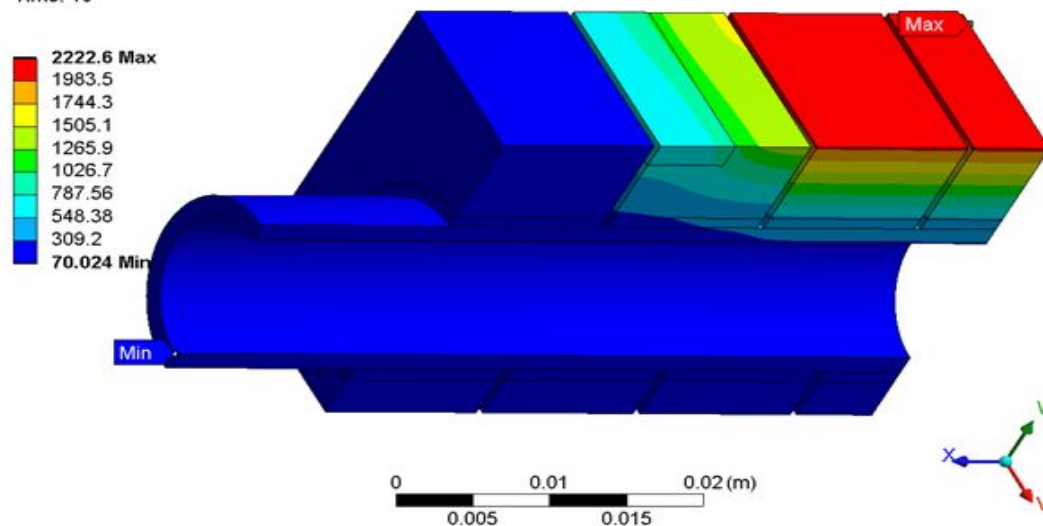
B: Steady-State Thermal (ANSYS)

Figure
Type: Temperature
Unit: °C
Time: 4



D: Transient Thermal (ANSYS)

Figure
Type: Temperature
Unit: °C
Time: 10

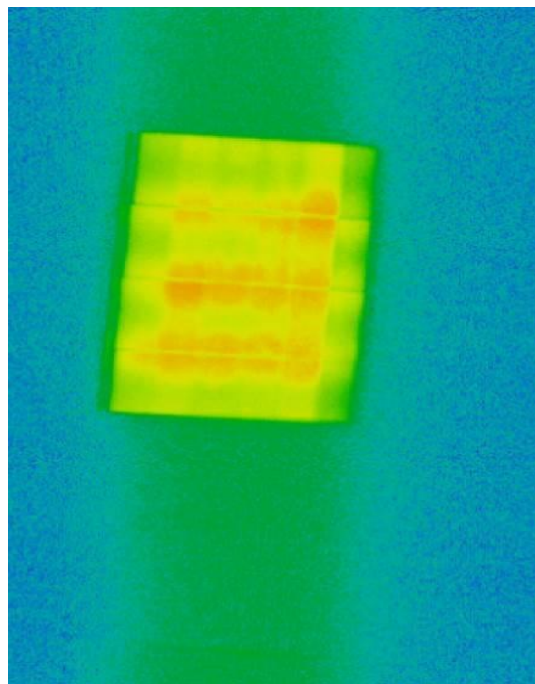


Обработка результатов испытаний зоны №3 полностью вольфрамового обращенного к плазме компонента внешней вертикальной мишени полномасштабного прототипа W-TA-OT-PROTO-1

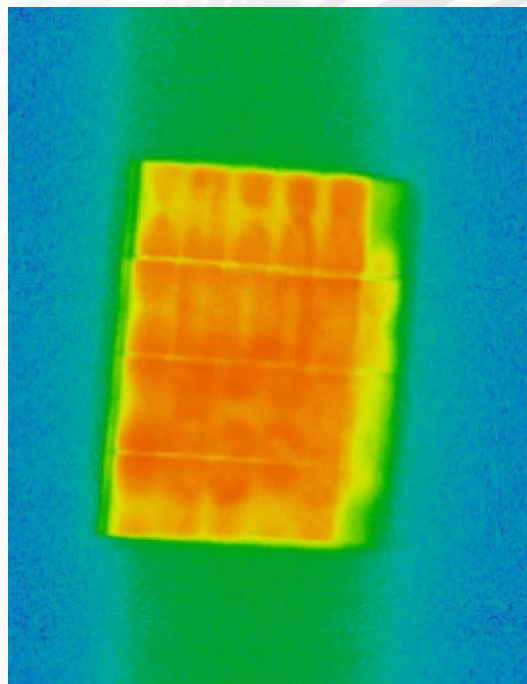


Обработка результатов тепловых испытаний прототипа W-TA-OT-PROTO-1

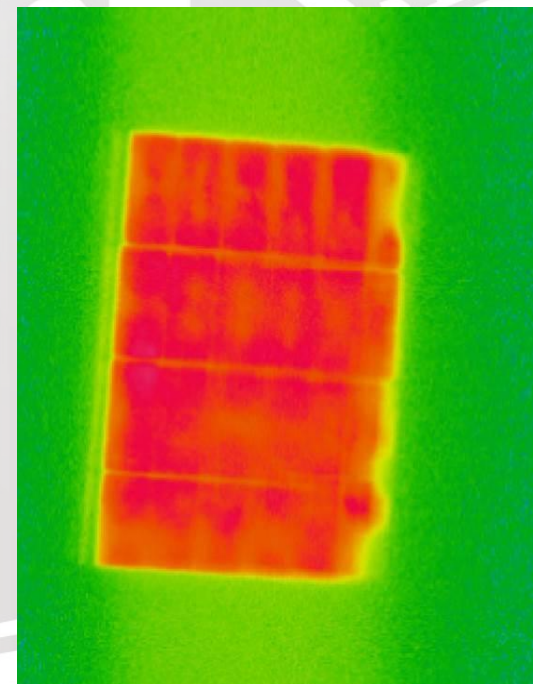
Графические изображения с ИК-камеры во время тепловых испытаний



Цикл: 20-
ый



Цикл: 420-
ый

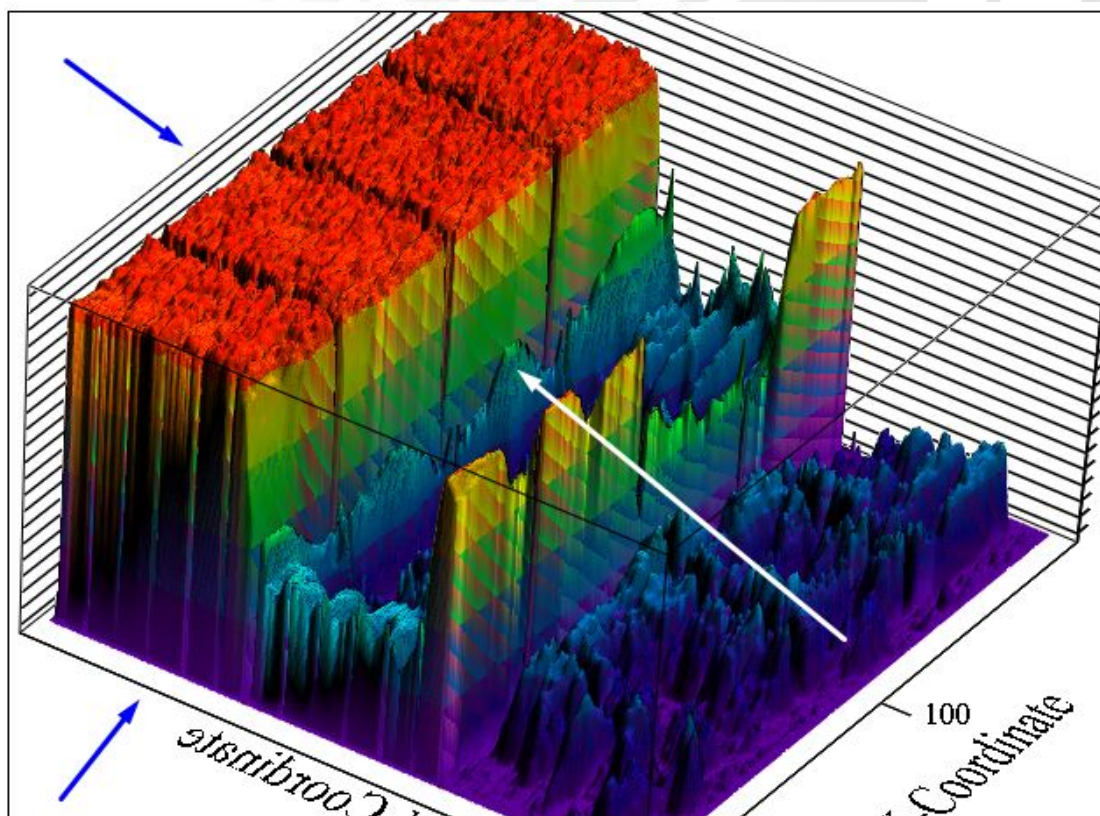


Цикл: 700-
ый

700 циклов при 20 МВт/м². Зона 3

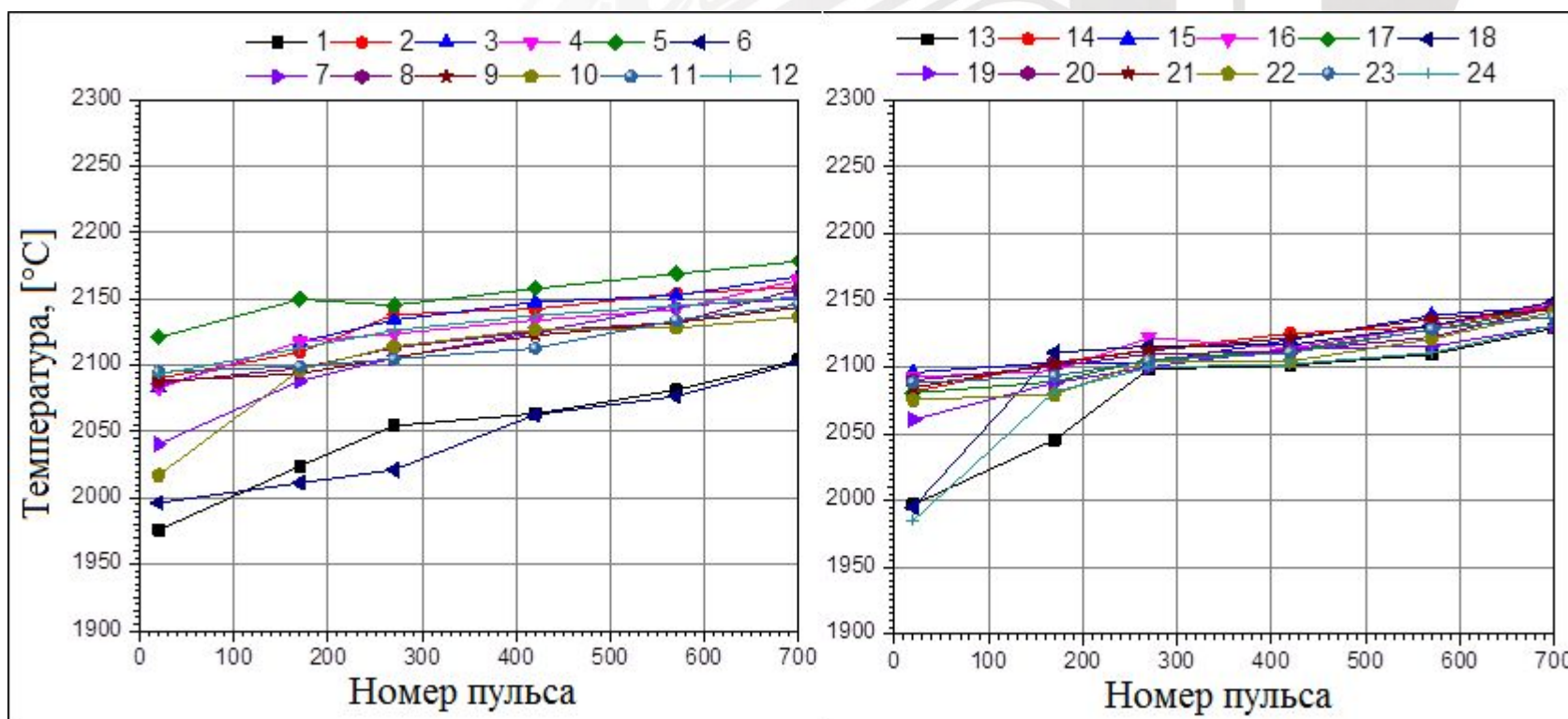
Обработка результатов тепловых испытаний прототипа W-TA-OT-PROTO-1

Преобразование графического изображения в трехмерный график температур поверхностей моноблоков



Обработка результатов тепловых испытаний прототипа W-TA-OT-PROTO-1

Графические изображения с ИК-камеры во время тепловых испытаний



Заключение

В работе выполнен численный расчёт температурных полей на тепловоспринимающей поверхности макета вольфрамового моноблока дивертора ИТЭР при высоких тепловых нагрузках. Проведен теплогидравлический анализ трех типов конструкций макетов моноблока для двух режимов работы – Стационарного и циклического режима

1а. Определен контур распределения температурных полей ОПК макетов моноблоков при воздействии на них высокоинтенсивных стационарных и циклических тепловых потоков в 10, 15, 20 МВт/м²

1б. Теплогидравлический анализ тепловых переходных процессов показывает хорошее согласие со стационарным режимом: максимальная температура поверхности макета после 10-секундного импульса очень близка к максимальной температуре поверхности макета при стационарном режиме.

2. На основании изображений поверхностей моноблоков полученных в институте им. Ефремова с ИК-камеры во время испытаний полномасштабного испытательного прототипа внешней вертикальной мишени высокой циклической тепловой нагрузкой было посчитано распределение температурного поля по поверхности испытываемых моноблоков методом растровой обработки изображений с использованием программного пакета Mathcad. Результатом преобразования являлось температурное картирование по тепловоспринимающим поверхностям моноблоков. Испытания воздействием высокоинтенсивным тепловым потоком проводились в Институте им. Ефремова в рамках обязательств России по проекту.

3. Средняя температура тепловоспринимающей поверхности при анализе переходного процесса на модели макета моноблока дивертора ИТЭР при воздействии тепловой нагрузки в 20 МВт/м² показывает хорошее соответствие со средней температурой поверхности ОПК при испытаниях полностью вольфрамового ОПК внешней вертикальной мишени полномасштабного прототипа W-TA-OT-PROTO-1 при воздействии циклической (700 циклов) тепловой нагрузки в 20 МВт/м²



Спасибо за внимание!

Для трехмерных задач, связанных с завихрением или вращением не требуется никаких специальных входных данных и специальных процедур решения. Существует возможность использовать цилиндрическую систему координат для определения входных граничных условий скорости на входе

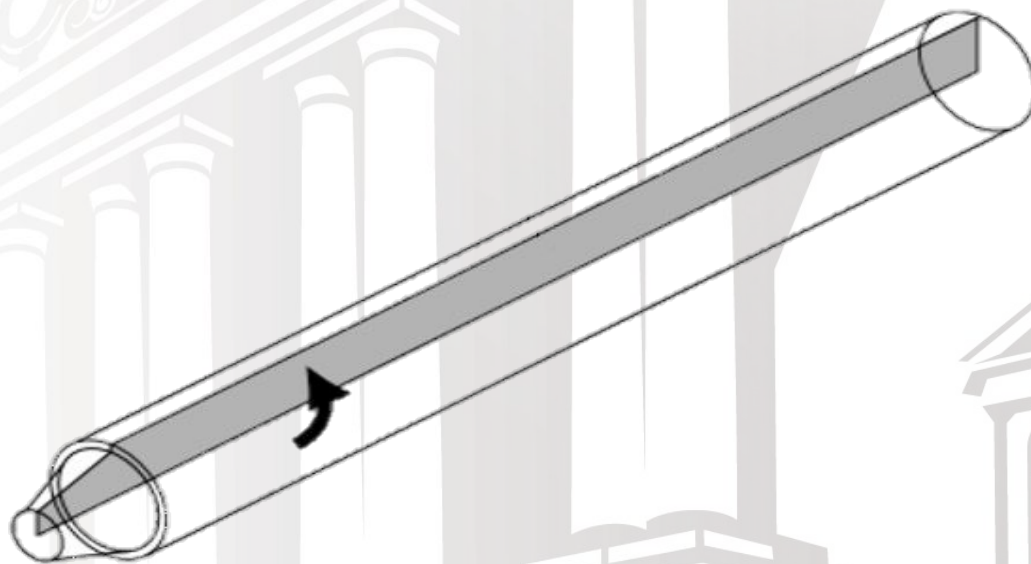
x – продольная координата

r – радиальная координата

u – продольная скорость

v – радиальная скорость

w – вращательная скорость



$$\frac{d}{dt}(\rho w) + \frac{1}{r} \frac{d}{dx}(r \rho u w) + \frac{1}{r} \frac{d}{dr}(r \rho v w) = \frac{1}{r} \frac{d}{dx} \left[r \mu \frac{dw}{dx} \right] + \frac{1}{r^2} \frac{d}{dr} \left[r^3 \mu \frac{d}{dr} \left(\frac{w}{r} \right) \right] - \rho \frac{v w}{r}$$

