МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
Обнинский институт атомной энергетики – филиал НИЯУ МИФИ

Численное моделирование теплообмена в ТВС реактора БН-1200

Руководитель дипломной работы: к.т.н., доцент Шелегов А.С. (ИАТЭ)
Студент-дипломник группы Э2-С09: Курашов С.С. (ИАТЭ)
Рецензент: к.т.н, доцент Чусов И.А. (ИАТЭ)

Обнинск-2015

Введение

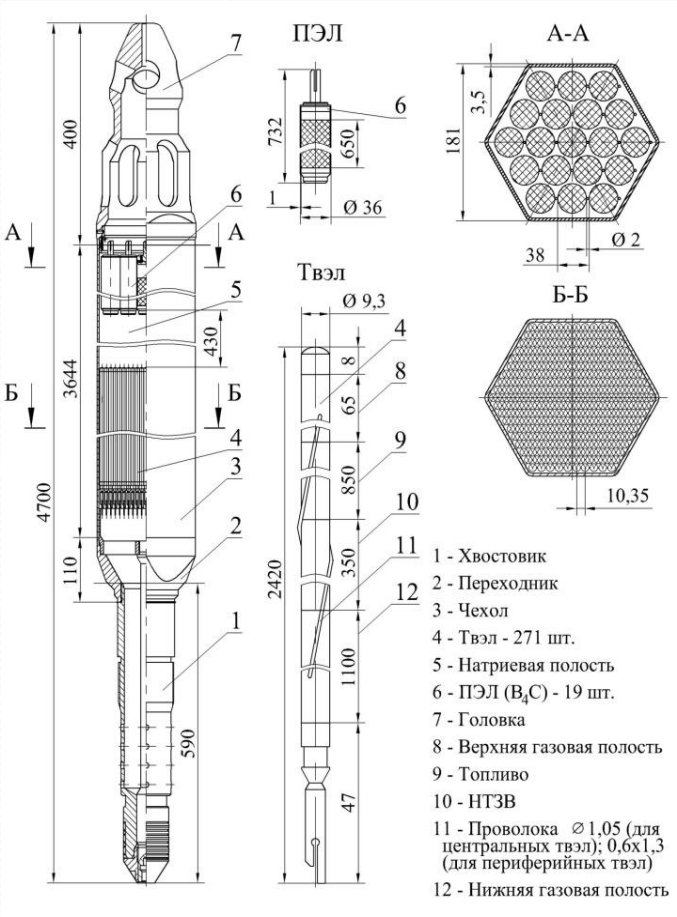
- В последние время разрабатываются реакторы на быстрых нейтронах. Для разработки проектов необходимо иметь различные теплогидравлические коды. Использование кодов позволит своевременно проводить корректировку в проектировании. В работе предлагается провести частичную верификацию одного из зарубежных кодов ANSYS CFX.

Цели работы

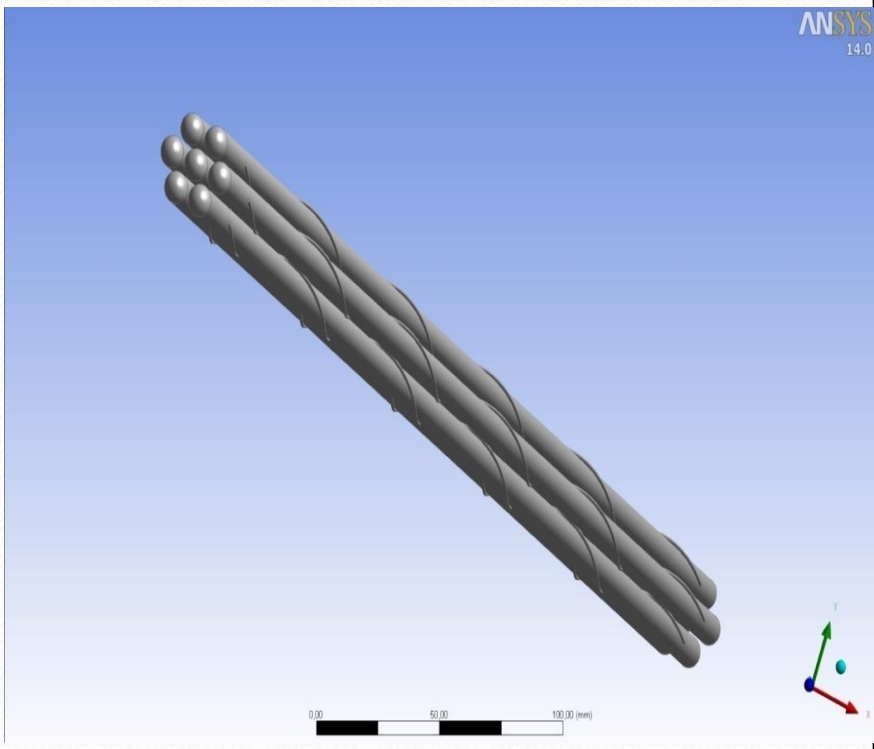
- разработать расчетные модели для численного моделирования процесса теплообмена в ТВС реактора типа БН;
- провести численные эксперименты (расчеты) с целью получения температурных полей и полей скоростей в теплоносителе (натрий);
- провести анализ полученных данных и сравнение их с эмпирической зависимостью по критерию Нуссельта.

Разработка расчетной 3D модели

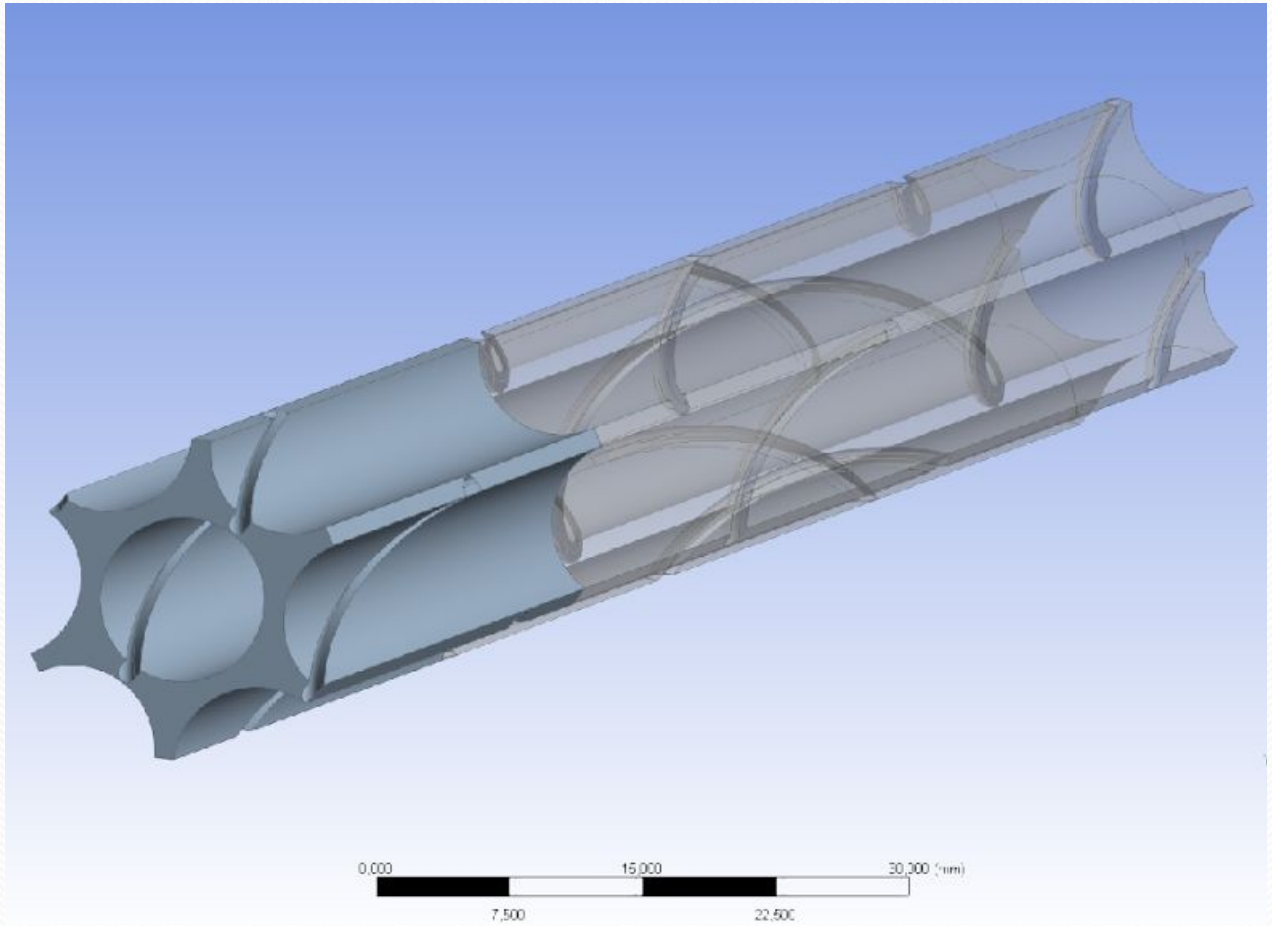
Общий вид ТВС и ТВЭЛ реактора БН-1200



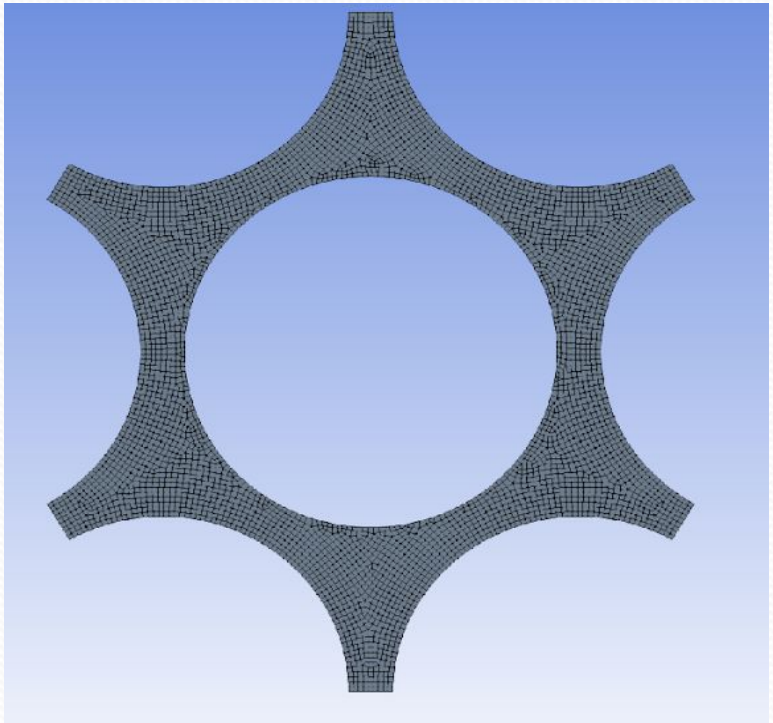
Твердотельная 3D модель



Расчетная модель



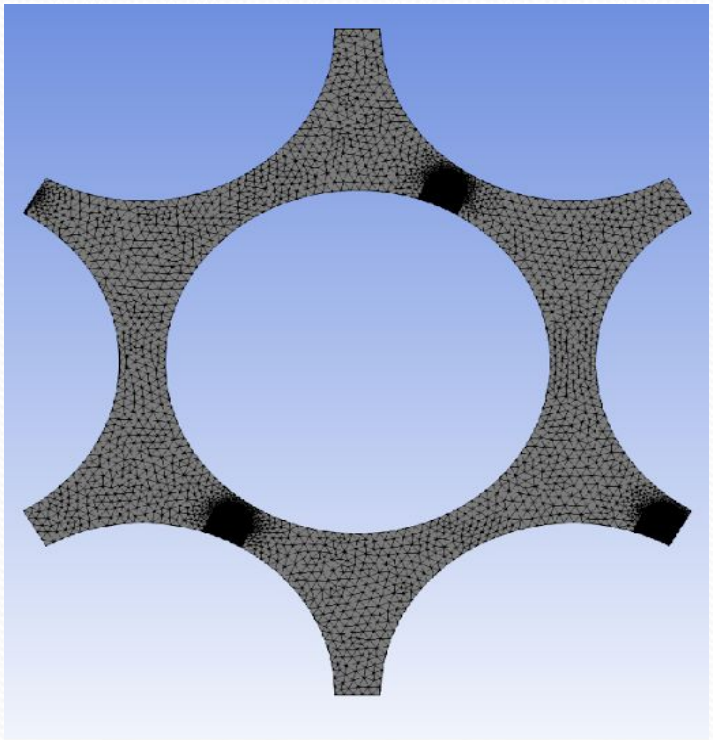
Построение расчетной сетки



Без навивки

Число ячеек: **$39 \cdot 10^6$**

Элемент ячеек: **четырехгранник**

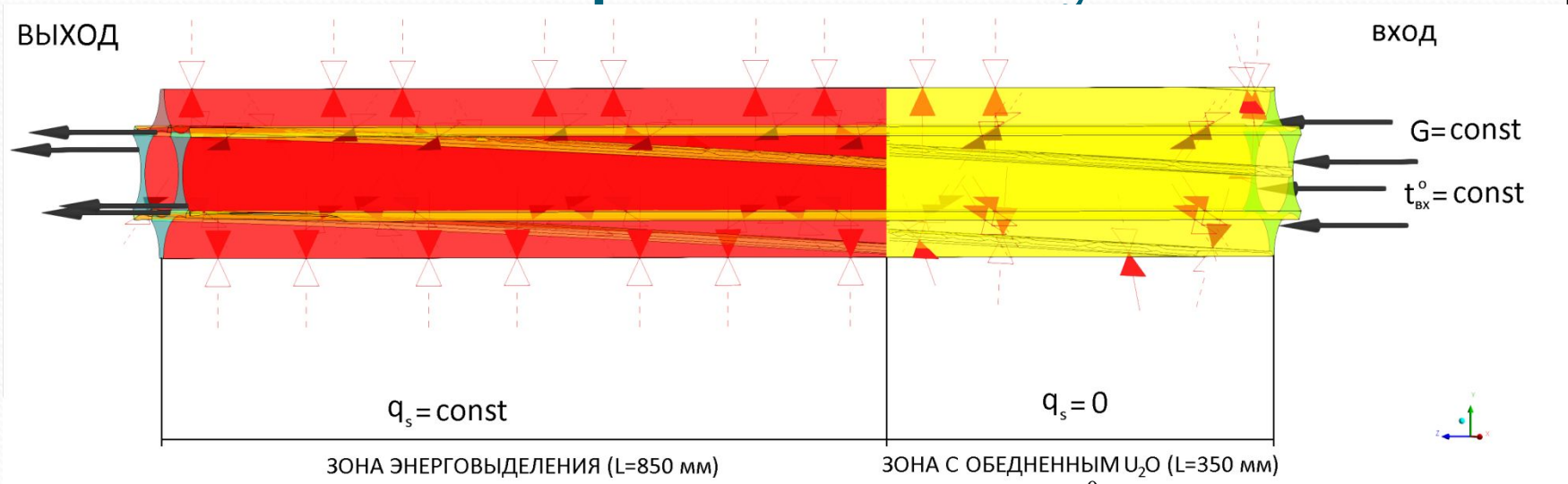


С навивкой

Число ячеек: **$31{,}7 \cdot 10^6$**

Элементы ячеек: **тетраэдр**

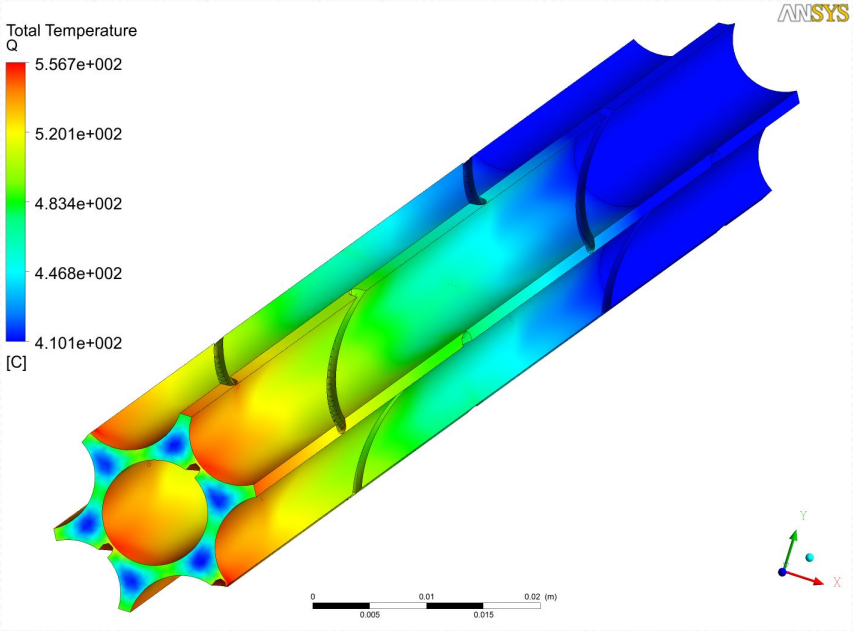
Постановка граничных условий



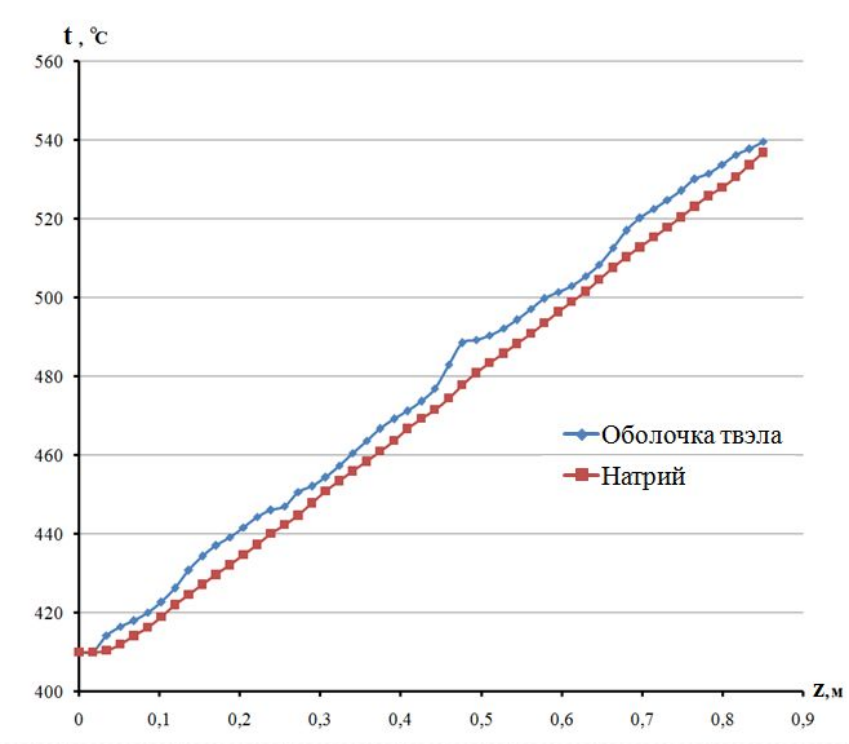
- температура натрия на входе в расчетную модель составляет 410 ^{0}C;
- на выходе относительное давление 0 МПа, что позволяет рассчитать гидравлические потери ΔP на участке расчетной модели $\Delta P = P_{вх}$;
- расход натрия составляет через модель 0,32 кг/с;
- для поверхностей со смежными ячейками задавалось условие симметрии;
- задавался постоянный тепловой с поверхности тепловыделяющей части – 767070,8 Вт/м^2, соответствующий номинальному уровню мощность N = 2800 МВт (тепловая).

Распределение температуры по высоте (с навивкой)

Трехмерное поле температур

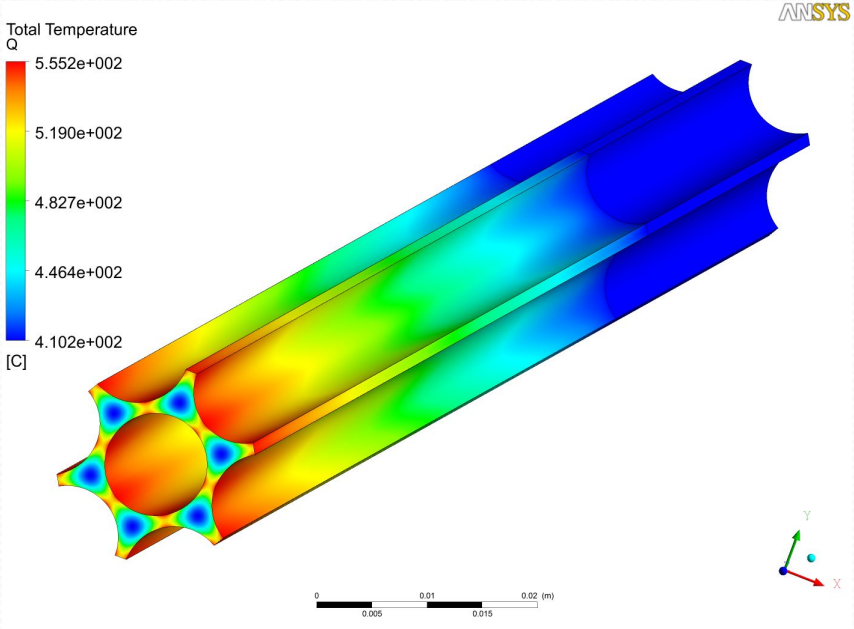


Аксиальное распределения температуры

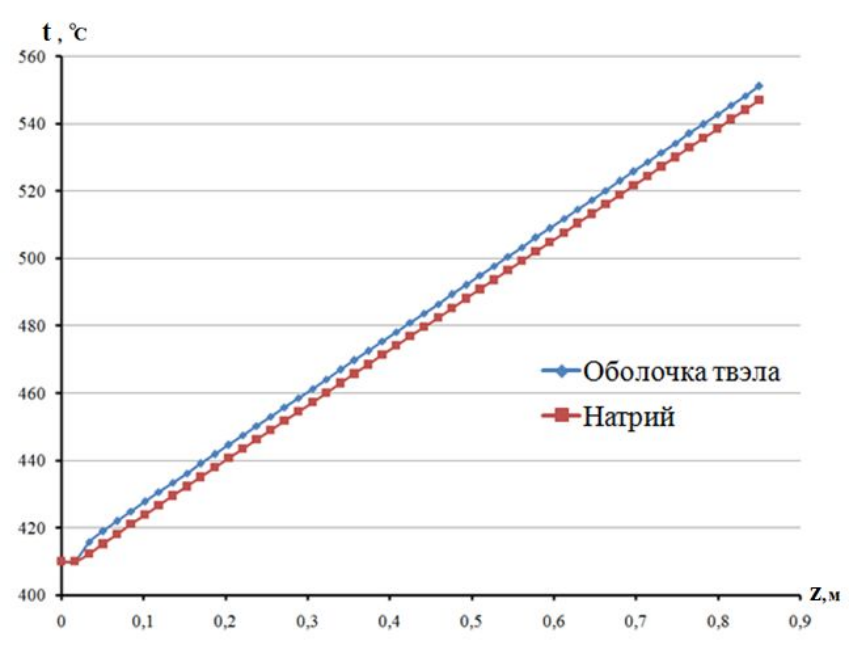


Распределение температуры по высоте (без навивки)

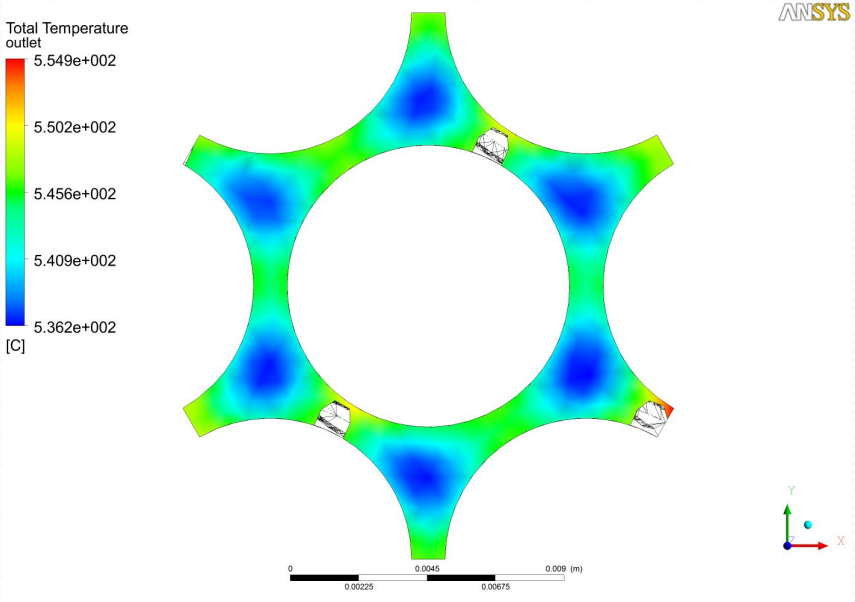
Трехмерное поле температур

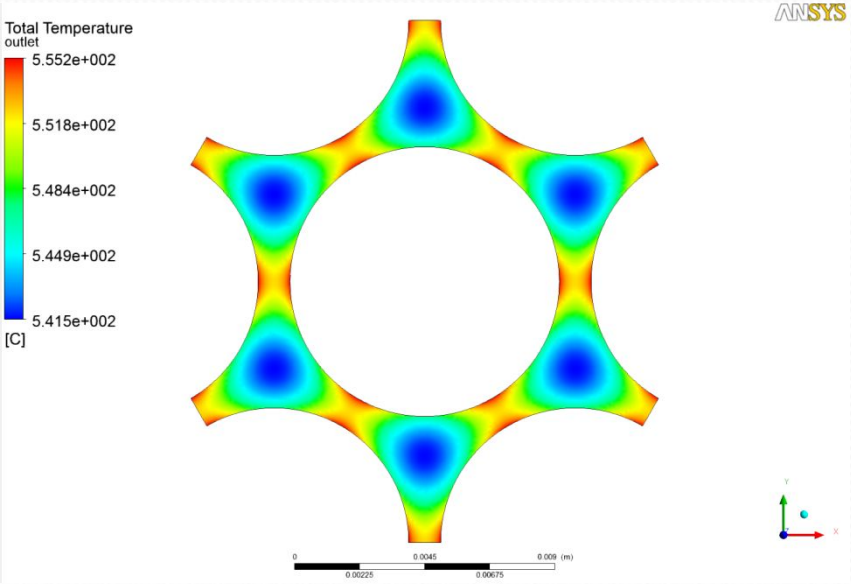


Аксиальное распределение температуры



Распределение температуры теплоносителя в выходном сечении





С проволочной навивкой

Максимальная температура - 554 ^{0}C

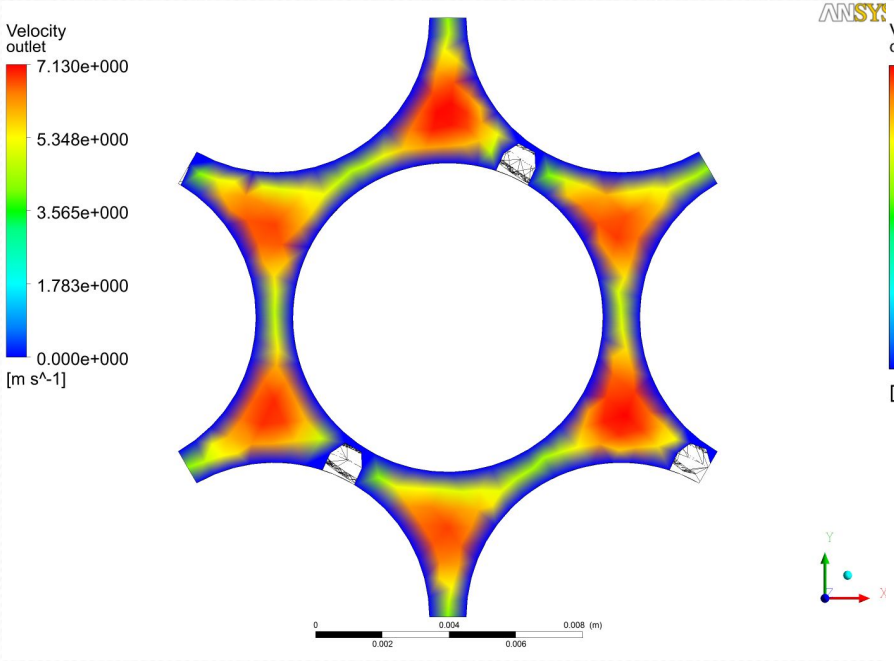
Среднесмешанная температура - 543 ^{0}C

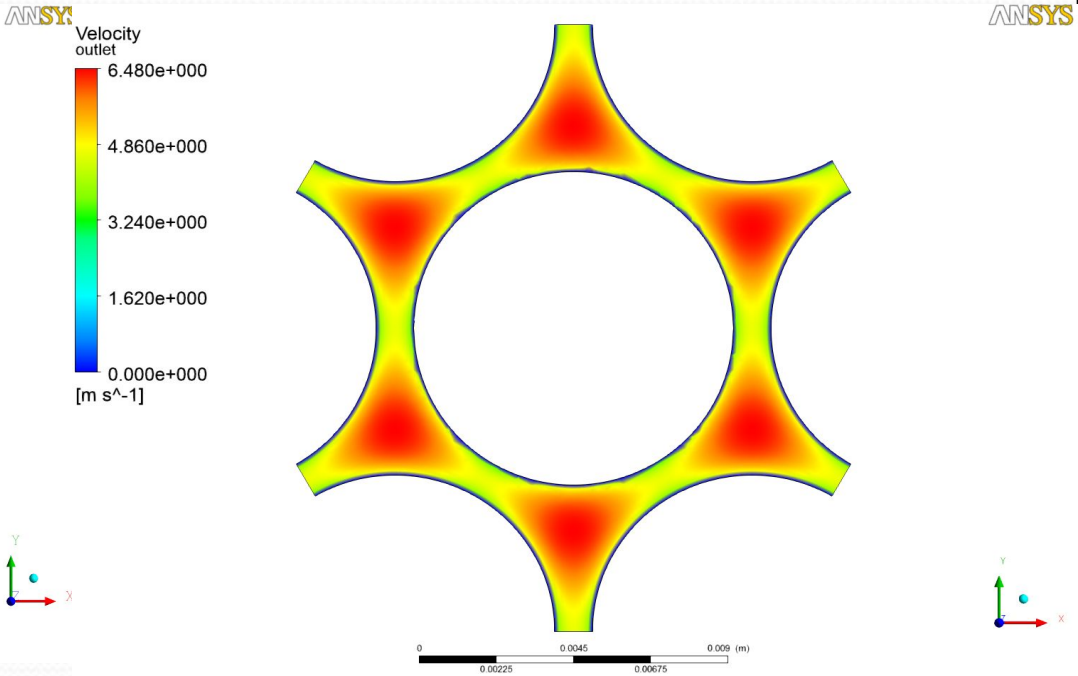
Без проволочной навивки

Максимальная температура – 555 ^{0}C

Среднесмешанная температура – 547 ^{0}C

Распределение скорости теплоносителя в выходном сечении





С проволочной навивкой

Максимальная скорость – 7,15 м/с

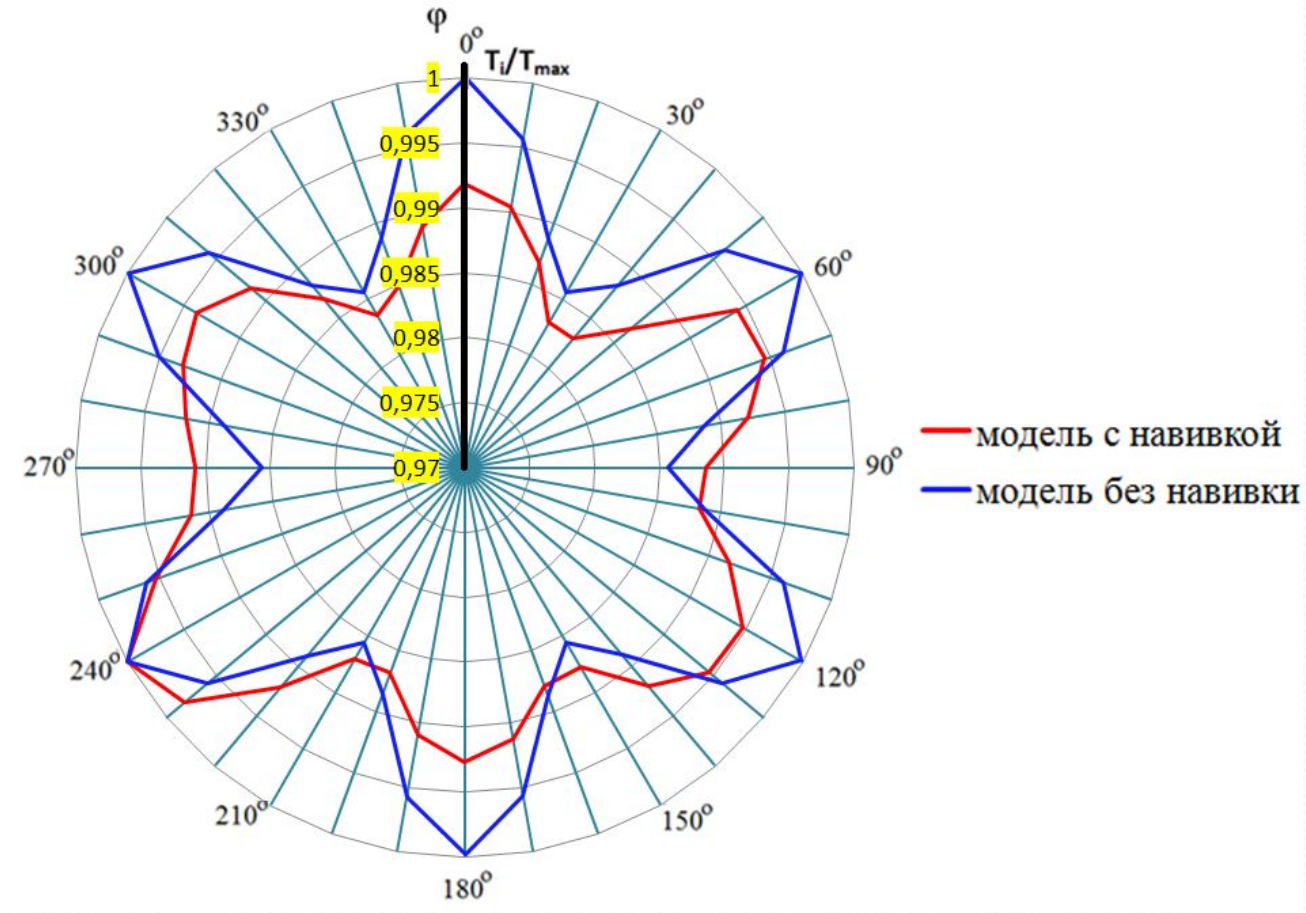
Средняя скорость – 5,07 м/с

Без проволочной навивки

Максимальная скорость – 6,48 м/с

Средняя скорость – 4,93 м/с

Неравномерность температур оболочки центрального твэла по периметру



Расчет по эмпирическим зависимостям

Теплоотдача в треугольных решетках твэлов, охлаждаемых жидкими металлами рассчитывается по формуле:

$$Nu = Nu_л + f(\varepsilon_6, s/d)Pe^{\varphi(s/d)} \pm 15\%*$$

$$1 \le s/d \le 2; \quad 0{,}1 \le \varepsilon_6 \le \infty; \quad 1 \le Pe \le 4000;$$

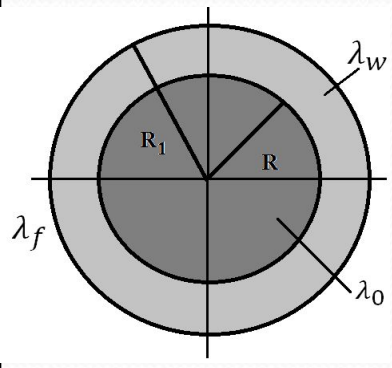
Где $Nu_л$ – число Нуссельта для ламинарного течения теплоносителя;

ε_6 – ε-параметр теплового подобия твэлов, рассчитанный по 6 гармонике;

$f(\varepsilon_6, s/d)$ и $\varphi(s/d)$ – эмпирические функции.

Параметр эквивалентной теплопроводности для цилиндрических твэлов с одной оболочкой рассчитывается по формуле:

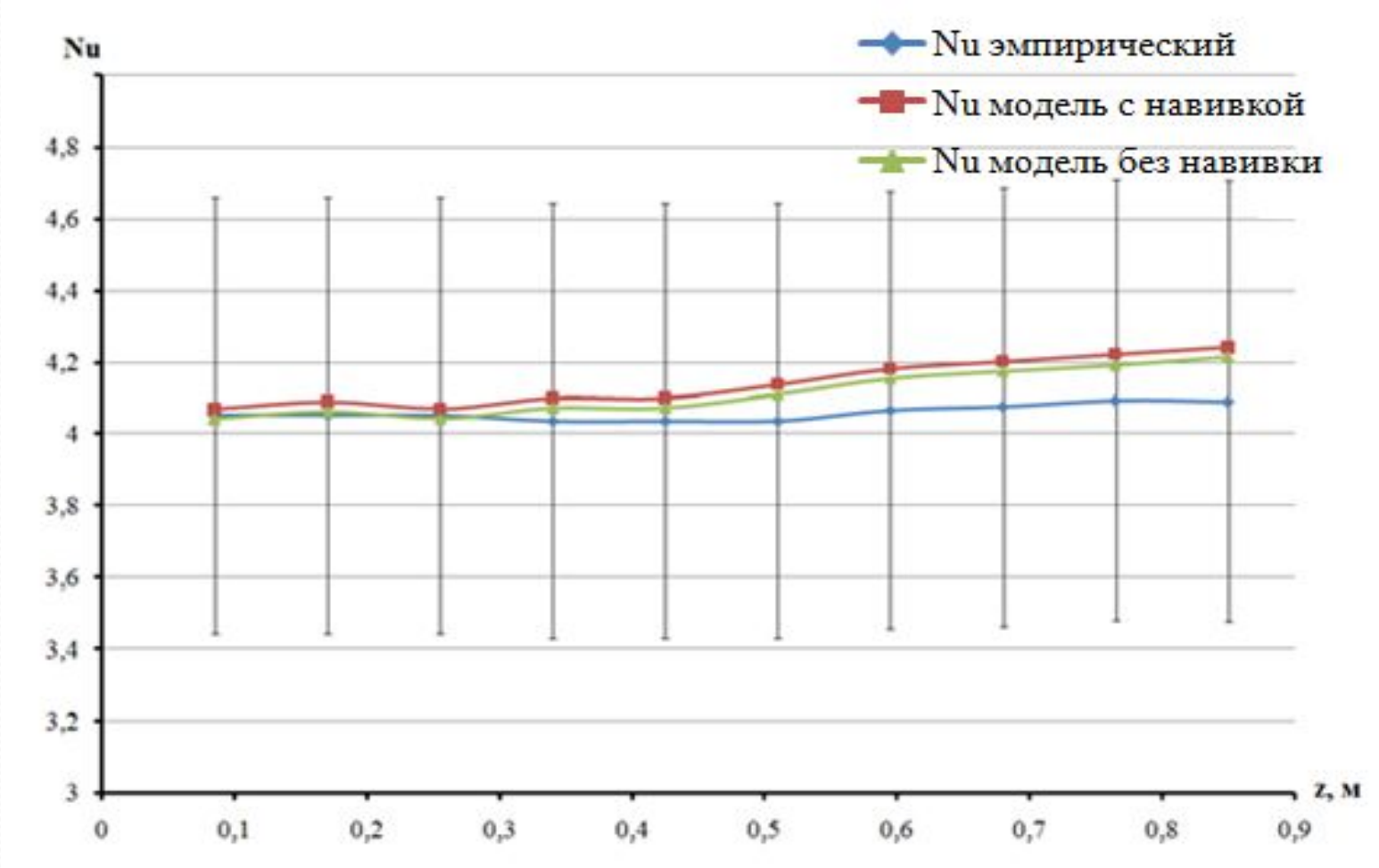
$$Nu_л = \left[7{,}55 \cdot s/d - \frac{6{,}3}{s/d^{17 \cdot s/d\left(\frac{s}{d} - 0{,}81\right)}}\right]\left[1 - \frac{3.6 \cdot s/d}{\frac{s}{d}^{20}(1 + 2{,}5 \cdot \varepsilon^{0.86}) + 3{,}2}\right]*; \quad \varepsilon_6 = \frac{\lambda_w}{\lambda_f} \cdot \frac{1 - \frac{\lambda_w - \lambda_0}{\lambda_w + \lambda_0} \cdot \xi^{12}}{1 + \frac{\lambda_w - \lambda_0}{\lambda_w + \lambda_0} \cdot \xi^{12}}$$



где λ_0 - теплопроводность топлива; λ_w - теплопроводность оболочки; λ_f - теплопроводность натрия.

- *Источник: методические указания и рекомендации по теплогидравлическому расчету активных зон быстрых реакторов под общей редакцией Жукова А.В., Сорокина А.П. РТМ 1604.008-88

Критерий Нуссельта



Выводы

- Разработаны расчетные 3D модели пучков твэл ТВС БН-1200 с проволочной навивкой и без навивки;
- Проведены расчеты в результате которых получены поля скоростей и температур;
- Анализ полученных результатов показал, что:
  - общая неравномерность температур по периметру оболочки твэлов модели без навивки больше, чем с навивкой, однако, эти неравномерности не превышают 0,1%;
  - расчетным путем получены коэффициенты теплоотдачи для модели с навивкой они оказались большими, чем для модели без навивки;
  - сравнение результатов расчета с эмпирическими зависимостями показало неплохое качественное и количественное соответствие, отличие не превышает 5%, что подтверждает правильность численных экспериментов

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!