

*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.

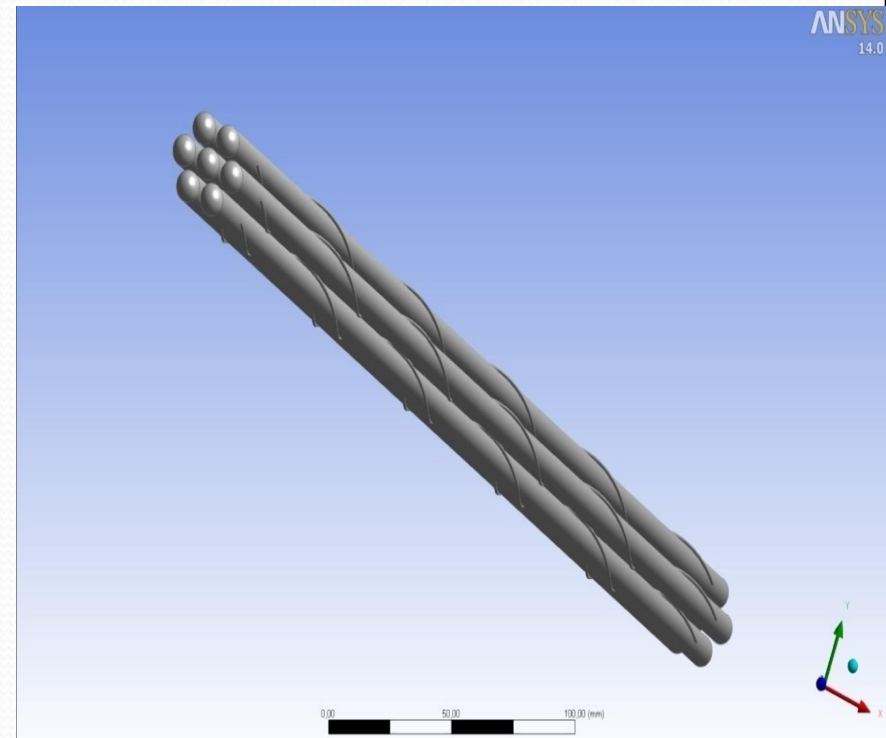
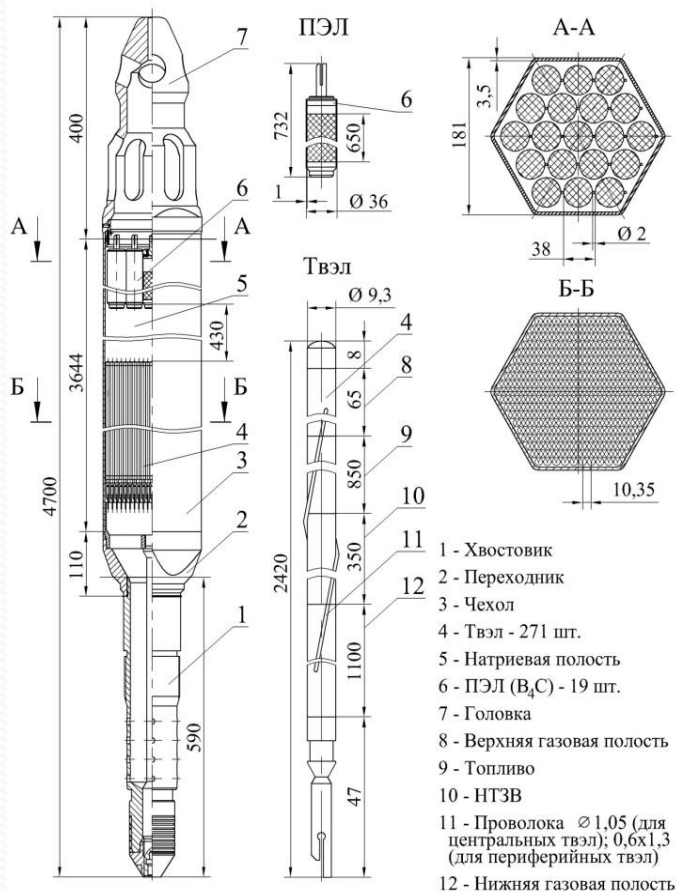
Цели работы

- 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.

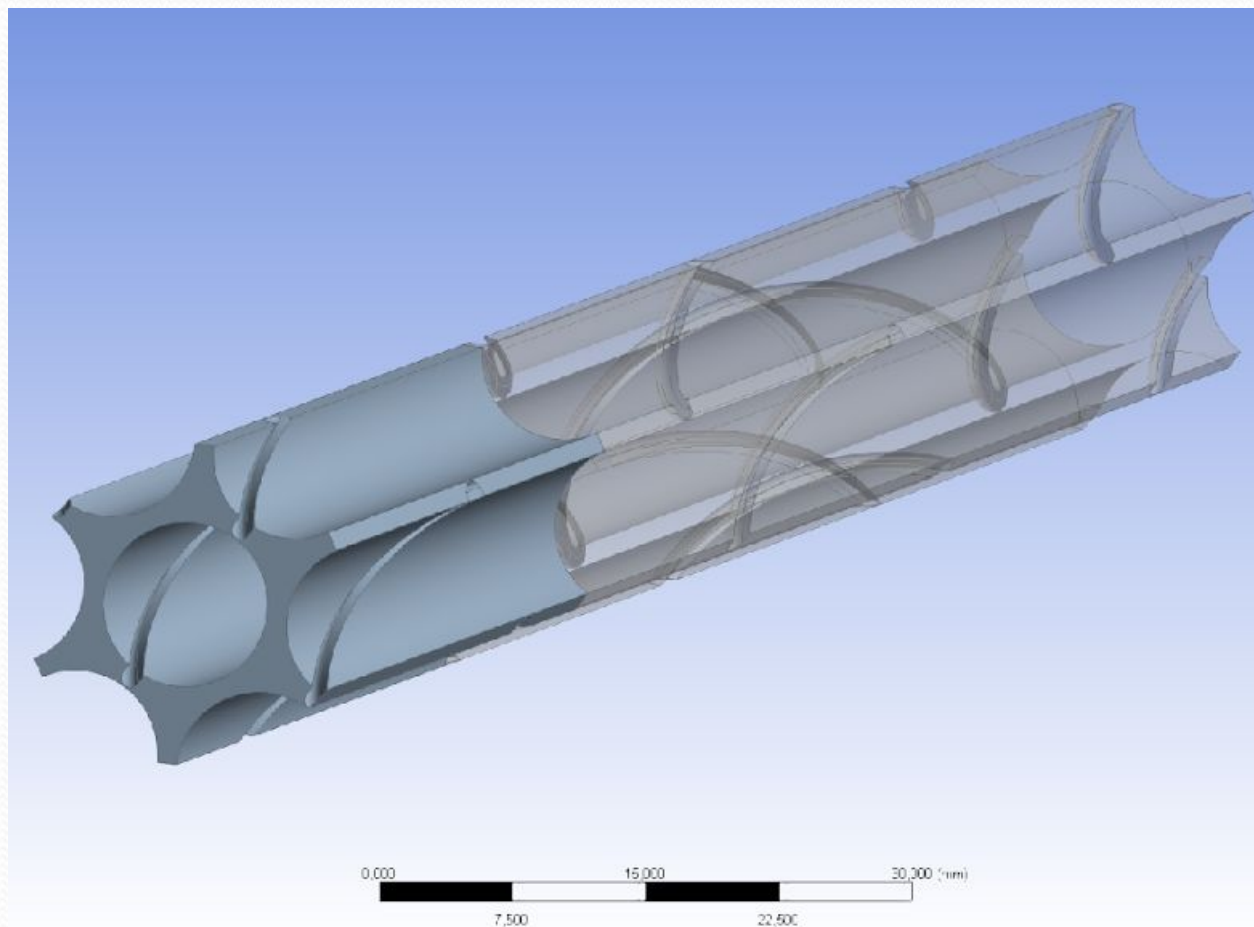
Разработка расчетной 3D модели

Общий вид ТВС и ТВЭЛ реактора БН-1200

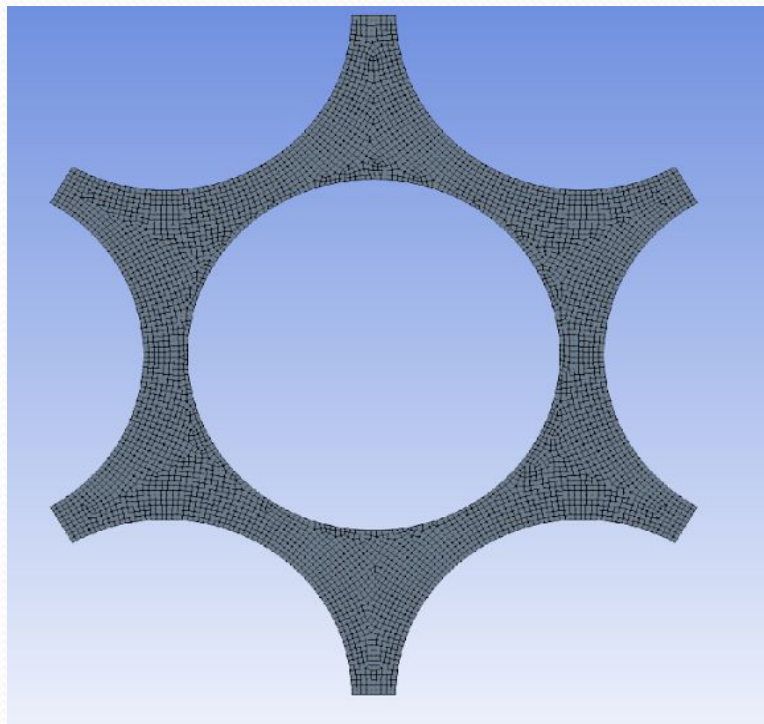
Твердотельная 3D модель



Расчетная модель



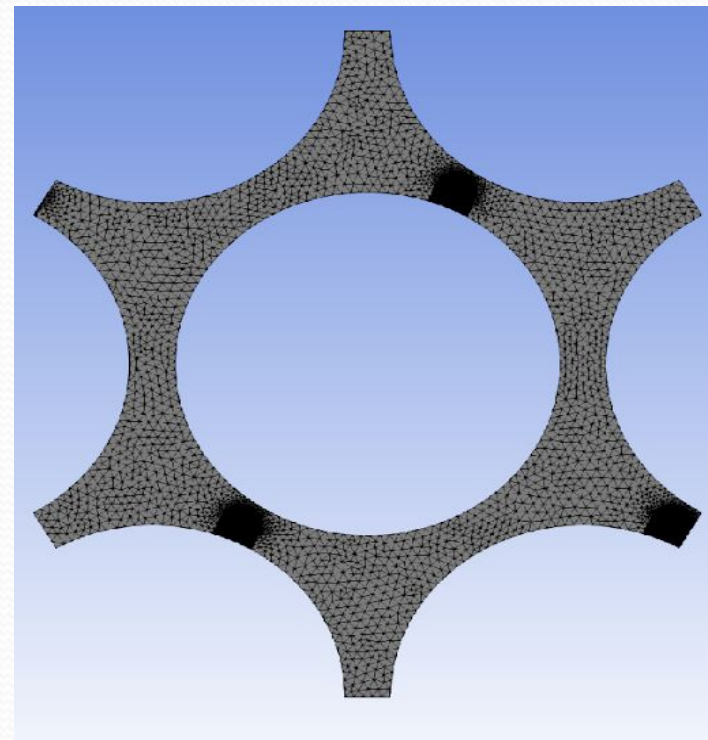
Построение расчетной сетки



Без навивки

Число ячеек: $39 \cdot 10^6$

Элемент ячеек: **четырёхгранник**

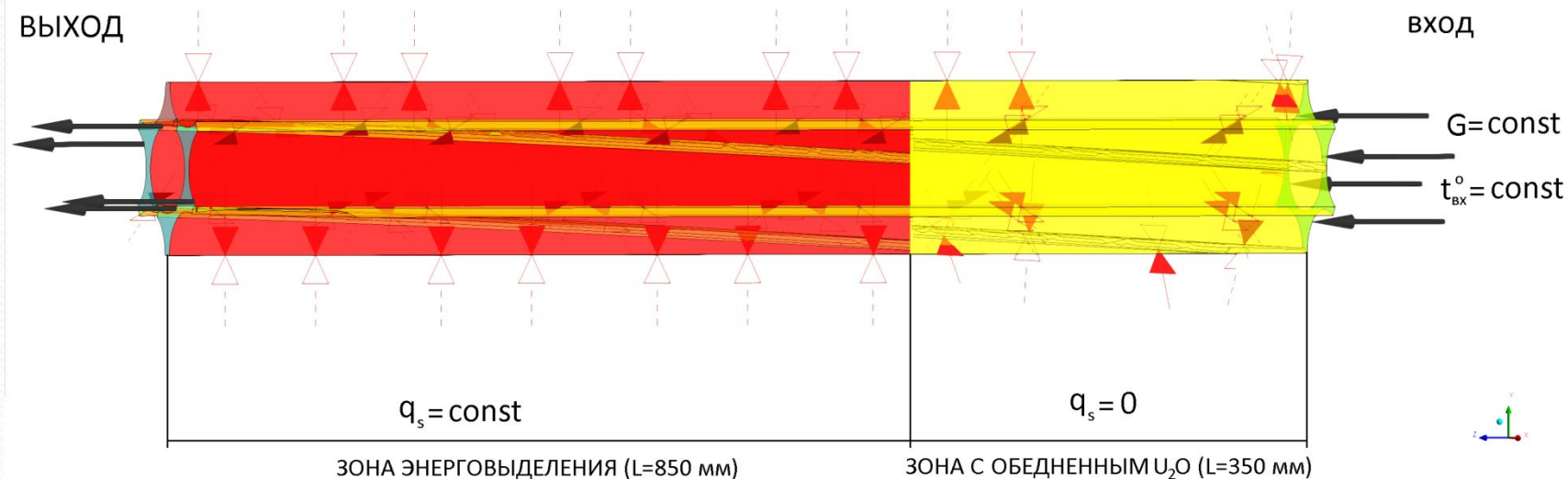


С навивкой

Число ячеек: $31,7 \cdot 10^6$

Элементы ячеек: **тетраэдр**

Постановка граничных условий

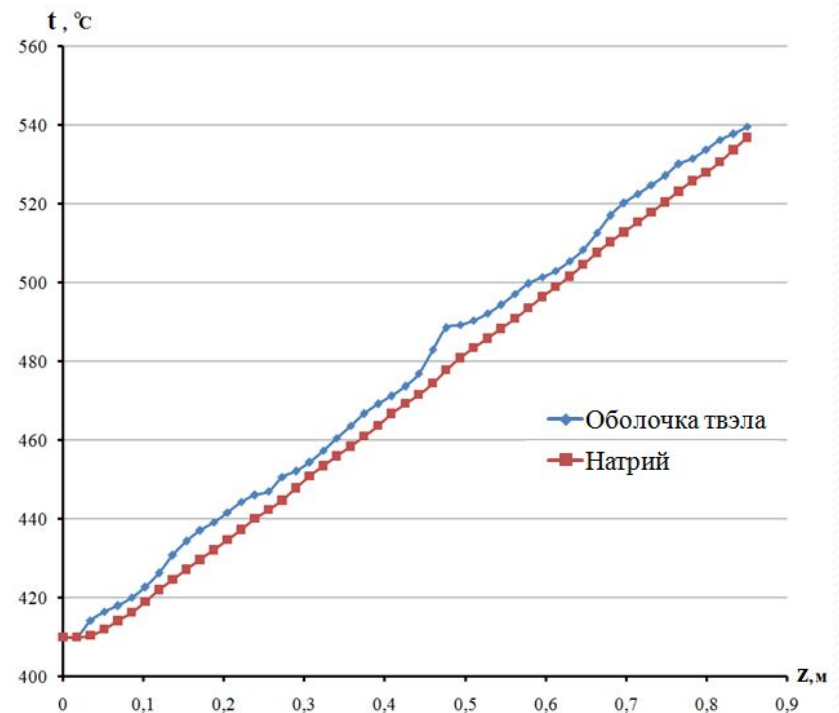
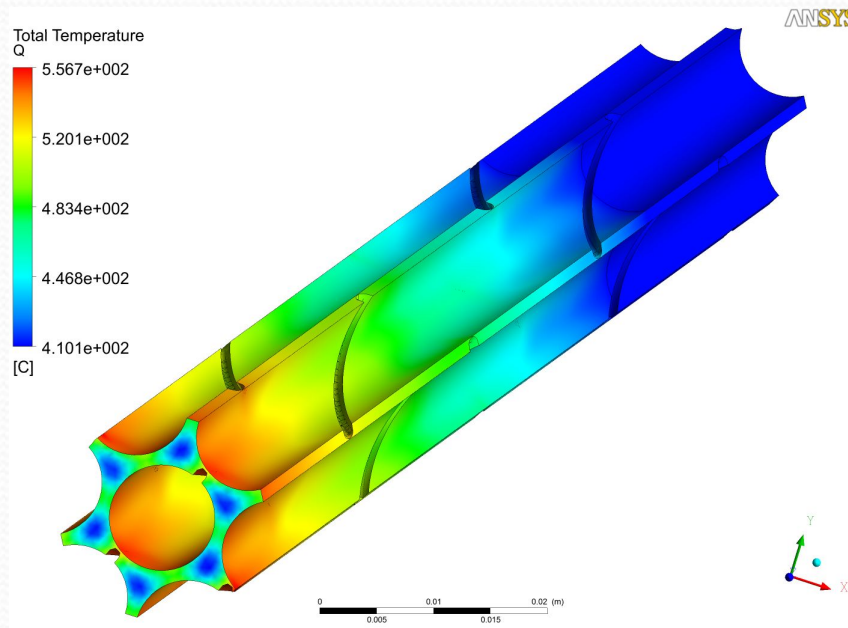


- температура натрия на входе в расчетную модель составляет $410\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- на выходе относительное давление 0 МПа , что позволяет рассчитать гидравлические потери ΔP на участке расчетной модели $\Delta P = P_{\text{вх}}$;
- расход натрия составляет через модель $0,32\text{ кг/с}$;
-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

Распределение температуры по высоте (с навивкой)

Трехмерное поле температур

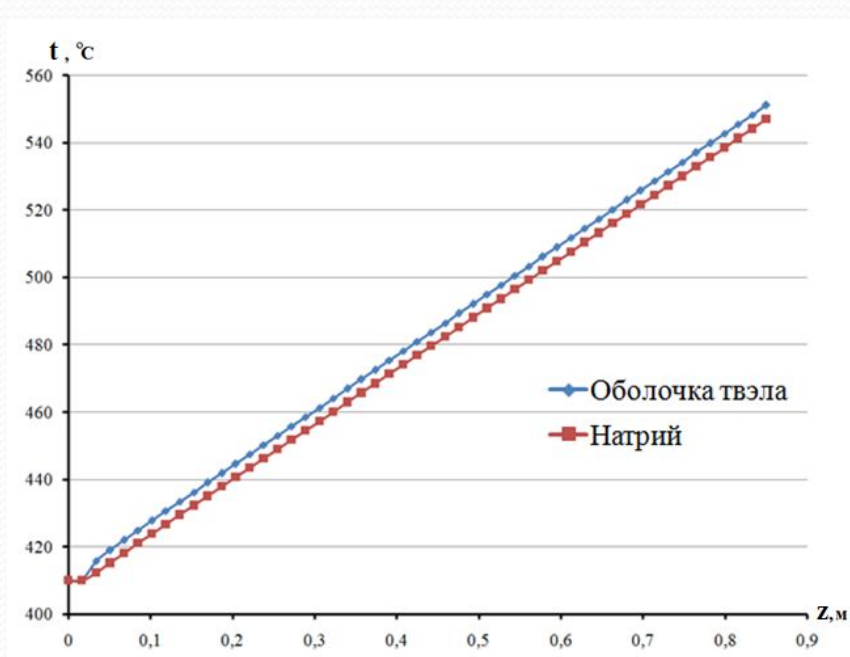
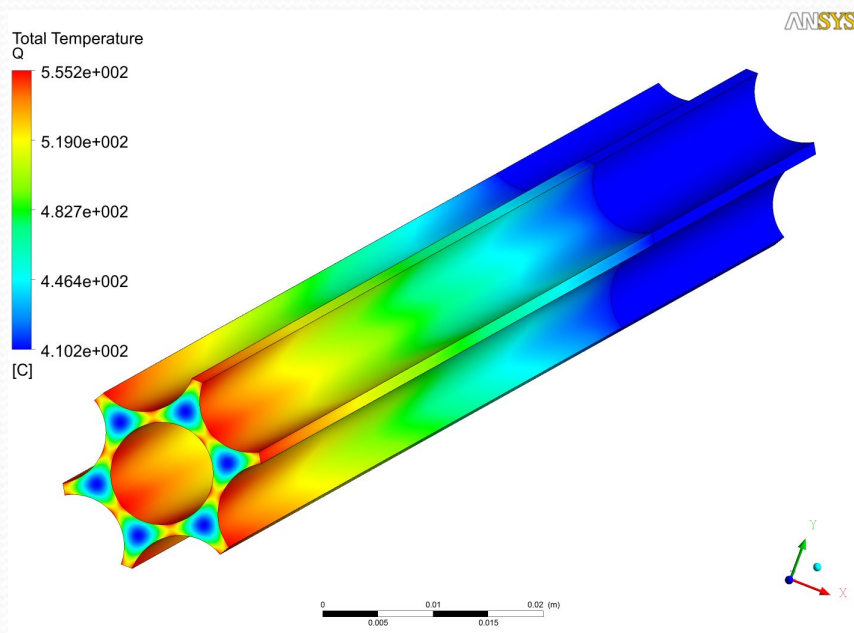
Аксиальное распределения температуры



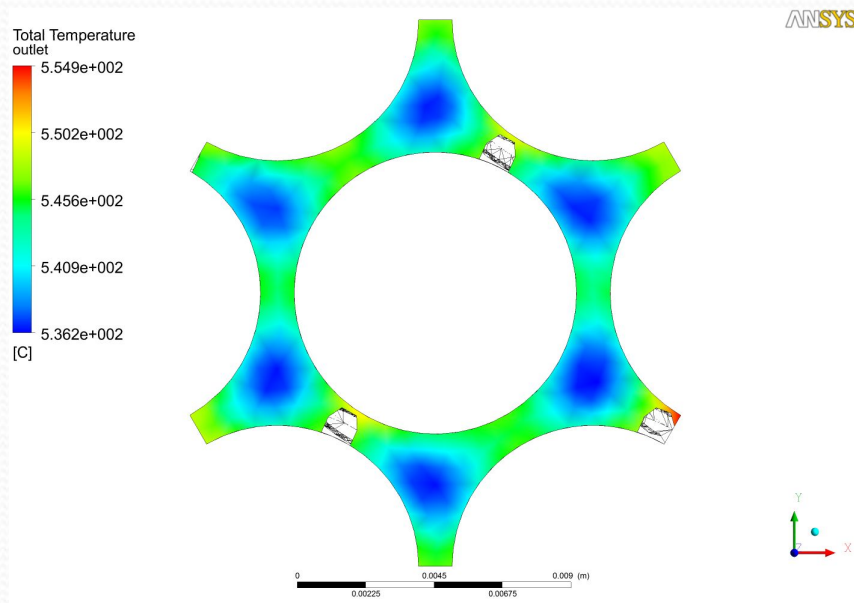
Распределение температуры по высоте (без навивки)

Трехмерное поле температур

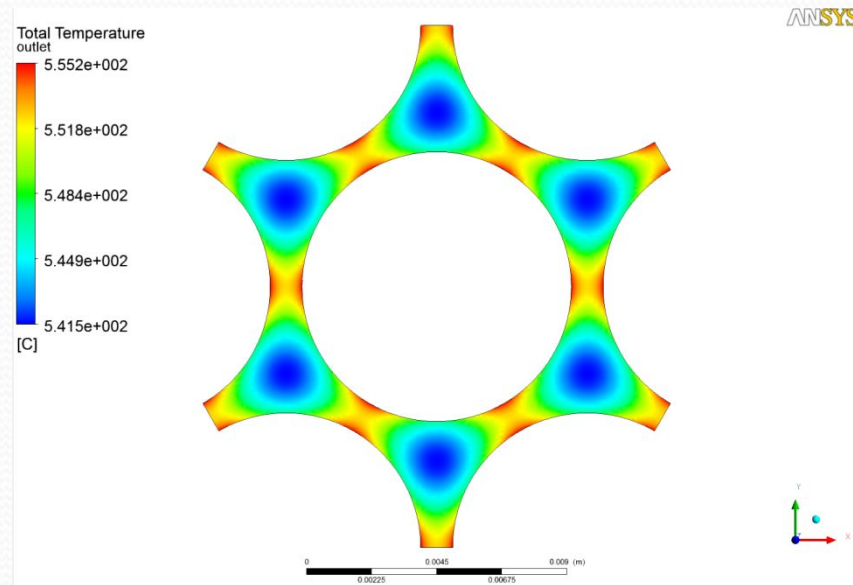
Аксиальное распределение температуры



Распределение температуры теплоносителя в выходном сечении

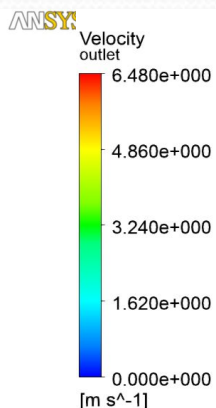
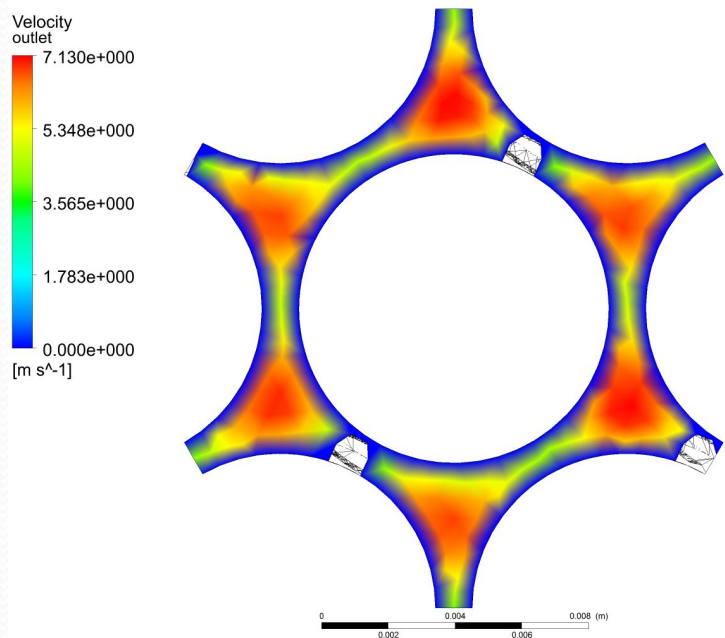


С проволочной навивкой
Максимальная температура - 554 °C
Среднесмешанная температура - 543 °C



Без проволочной навивки
Максимальная температура – 555 °C
Среднесмешанная температура – 547 °C

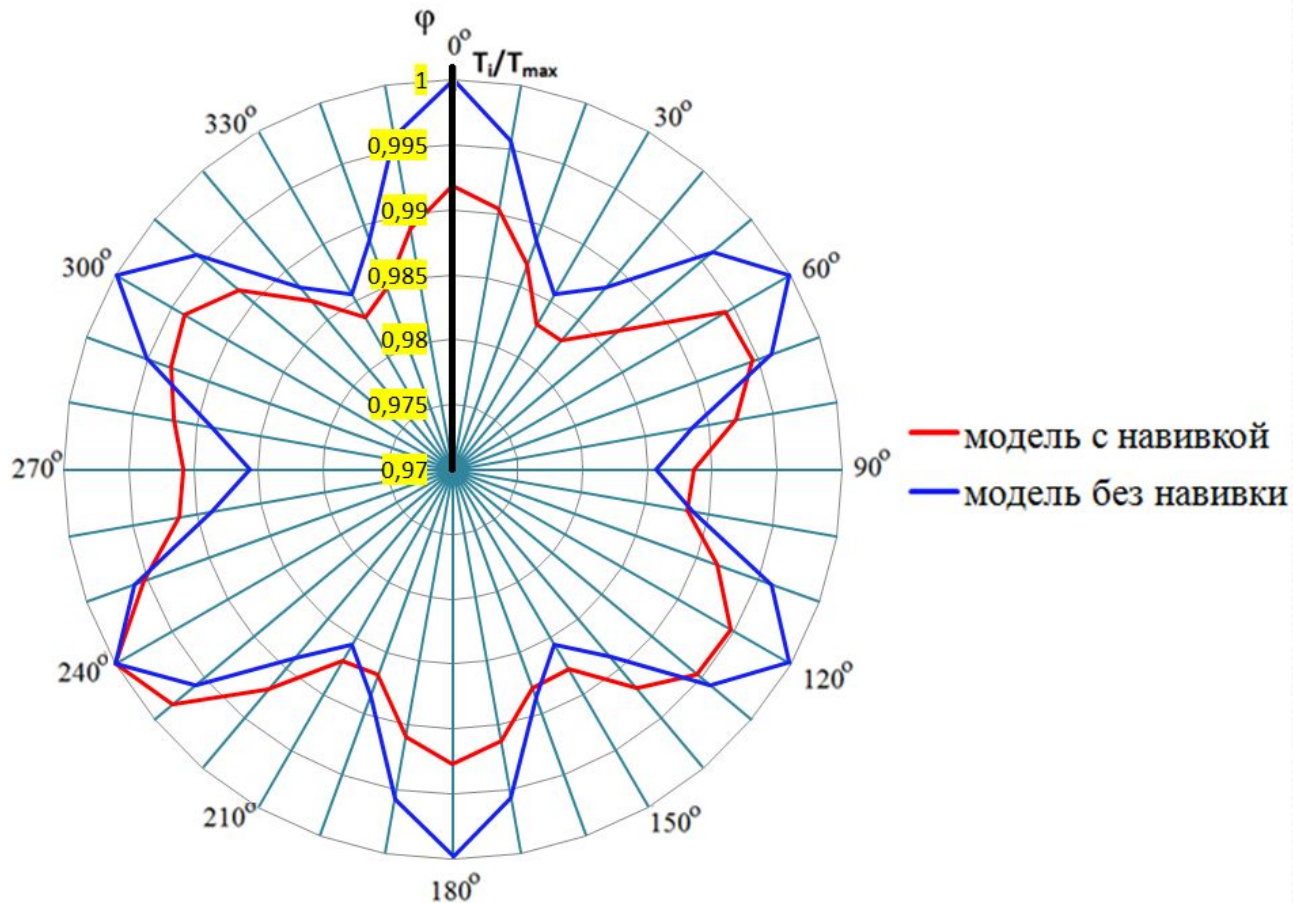
Распределение скорости теплоносителя в выходном сечении



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 ТВЭЛ по периметру



Расчет по эмпирическим зависимостям

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

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

$$1 \leq s/d \leq 2; \quad 0,1 \leq \varepsilon_6 \leq \infty; \quad 1 \leq Pe \leq 4000;$$

Где $Nu_{\text{л}}$ – 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:

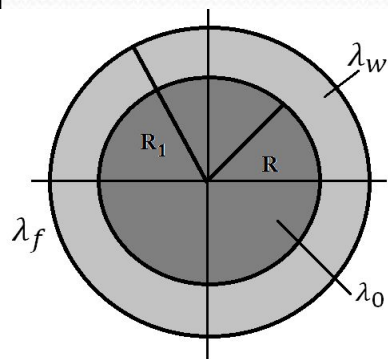
$$Nu_{\text{л}} = \left[7,55 \cdot s/d - \frac{6,3}{s/d^{17 \cdot s/d (\frac{s}{d} - 0,81)}} \right] \left[1 - \frac{3,6 \cdot s/d}{\frac{s}{d}^{20} (1 + 2,5 \cdot \varepsilon^{0,86}) + 3,2} \right]^*;$$

$$\varepsilon_6 = \frac{\lambda_w}{\lambda_f} \cdot \frac{1 - \frac{\lambda_w - \lambda_0}{\lambda_w + \lambda_0} \cdot \xi^{12}}{1 + \frac{\lambda_w - \lambda_0}{\lambda_w + \lambda_0} \cdot \xi^{12}}$$

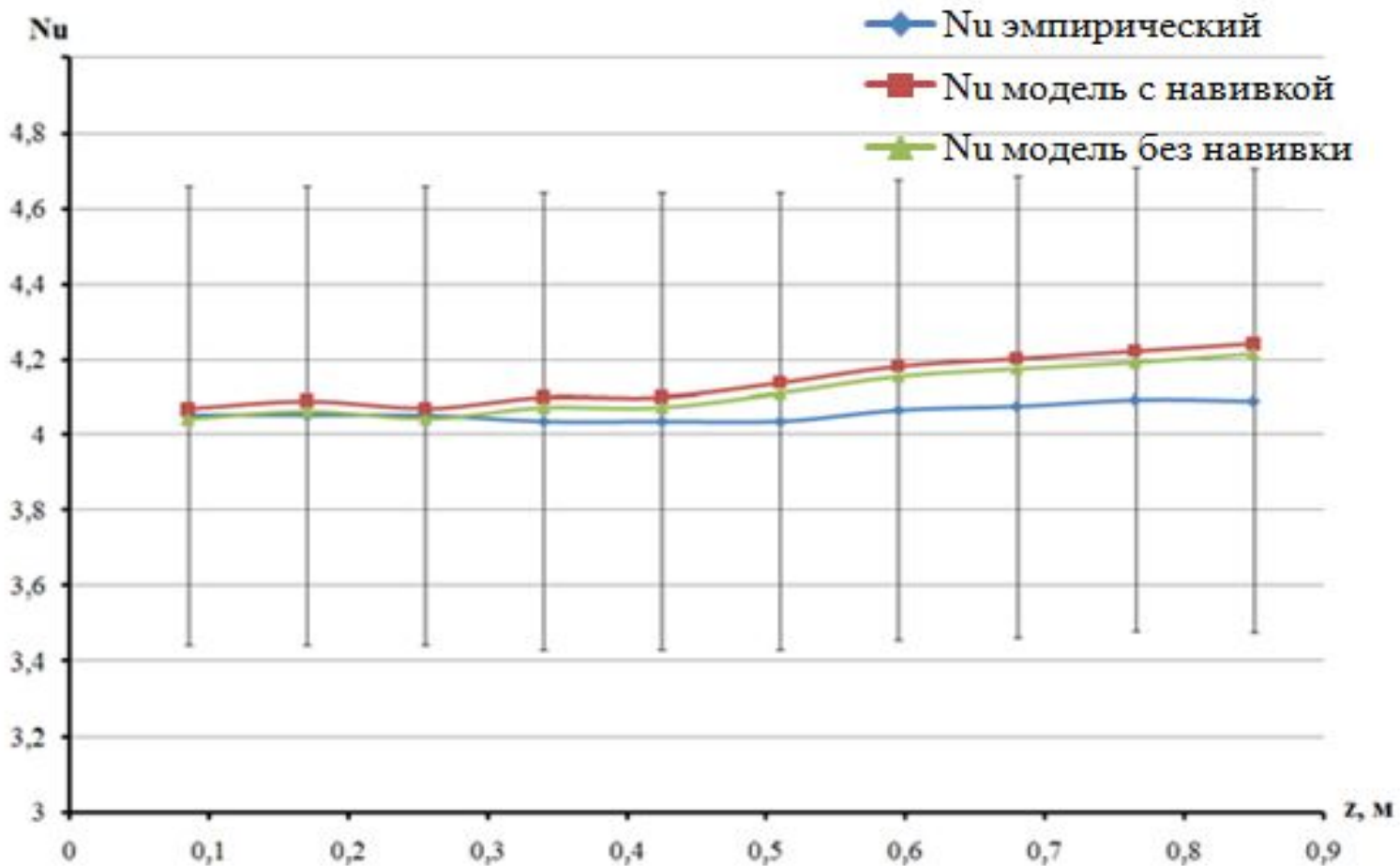
где λ_0 - теплопроводность топлива; λ_w - теплопроводность оболочки;

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!