



КОЛЬСКАЯ АЭС
РОСАТОМ

Интерактивный прогноз критических параметров реактора ВВЭР-440

Фокина Юлия Дмитриевна
Кольская АЭС

Всероссийская научно-техническая конференция
«Нейтронно-физические проблемы атомной энергетики»

28 – 31 мая 2024 г.

Введение

Для оперативной работы используются Альбомы нейтронно-физических характеристик топливной загрузки


Основные недостатки:

Информация о зависимостях представлена в табличных и графических формах

Расчеты выполняются «вручную», доступа к расчетным программам у оперативного персонала нет

Возможности человеческих ошибок и погрешностей округлений

Невозможно предоставить расчеты на все возможные варианты переходных режимов



Вариант решения проблемы

Создание удобного инструмента для проверки «ручных расчетов» оперативного персонала для любых возможных вариантов переходных режимов



Разработка модели

При разработке модели были сделаны следующие допущения:



При задании реактивности используются единицы измерения концентрации борной кислоты (г/кг)



Используется точечная модель – допустимая при расчетах для реактора ВВЭР-440

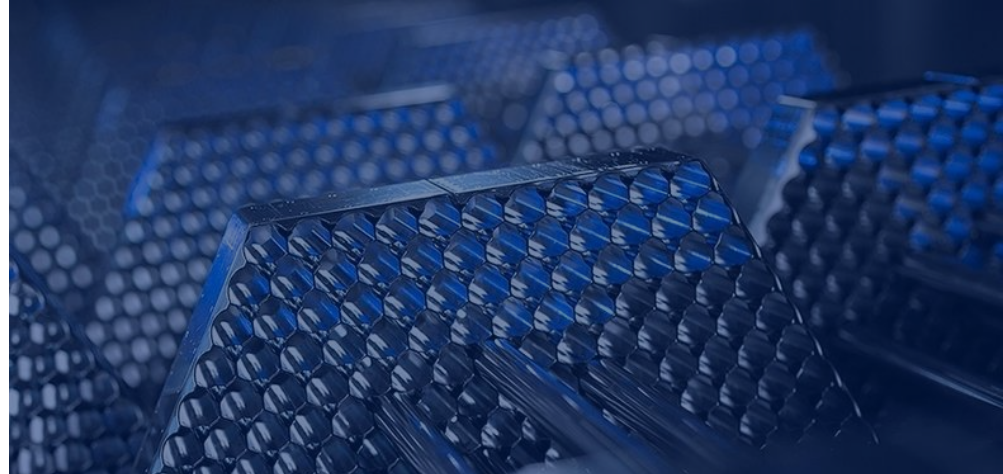


Мощность реактора в каждой его части изменяется пропорционально общей мощности



Для расчета констант дифференциальных уравнений отравлений используются параметры переходных процессов (глубина йодной ямы и стационарное отравление)

Величина отравления ксеноном



Наибольшую сложность вносит определение величины отравления ксеноном (является решением системы дифференциальных уравнений)

Используя принятые допущения преобразуем формулу изменения реактивности

Отравление ксеноном

$$\begin{aligned}\frac{dI}{dt} &= Gi * \sum f * F - \lambda i * I \\ \frac{dX}{dt} &= Gx * \sum f * F + \lambda i * I - \\ &\quad - (\lambda x * X + \sigma x * F) * X\end{aligned}$$

Преобразованная формула

$$\begin{aligned}\Delta \rho(t) &= \\ (-1) * \frac{A1}{A4} * &\left(\frac{C1 * C2 * Gi * A2 * A3}{\lambda x - \lambda i} + \right. \\ &\quad \left. + C0 * C1 - C0 \right)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{где } C1 &= \exp(-\lambda x * t) \\ C2 &= \exp((\lambda x - \lambda i) * t) \\ C3 &= (\lambda x - \lambda i) / (Gi + Gx)\end{aligned}$$

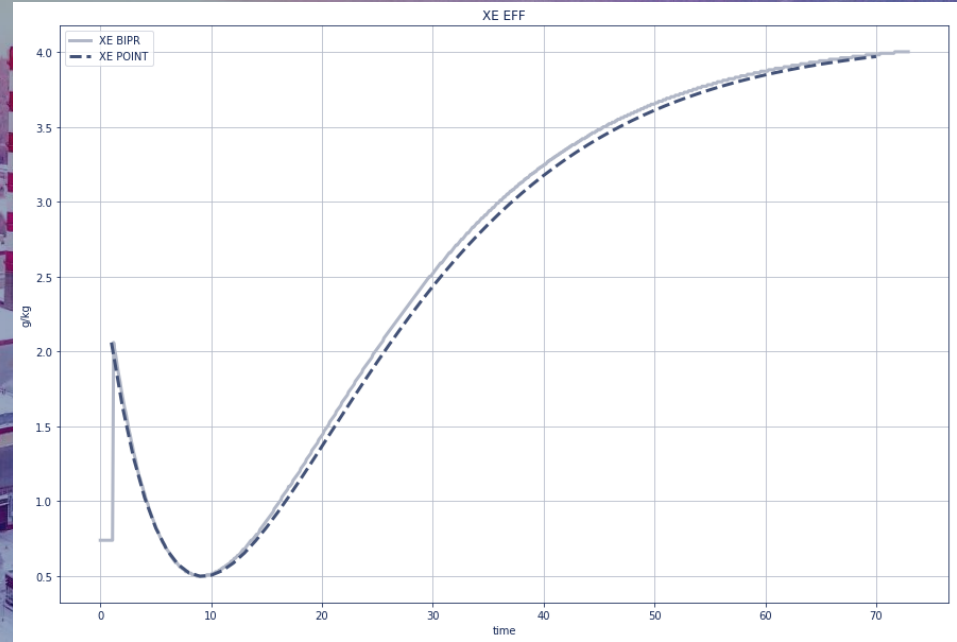
A1 – A4 константы точечной модели

Достоверность

Используя результаты расчетов для процесса мгновенного сброса нагрузки из BIPR, определяются параметры точечного приближения.

Сравниваем результаты расчета по полученной формуле с BIPR.

Полученные расхождения не превышают погрешность измерения.



Расчет водообмена I контура



КОЛЬСКАЯ АЭС
РОСАТОМ

При проведении работ по выводу реактора в критическое состояние требуются оперативные расчеты времени выхода реактора в критику и объемов подпитки

Реальные параметры концентрации подпитки могут отличаться от приведенных в Альбоме

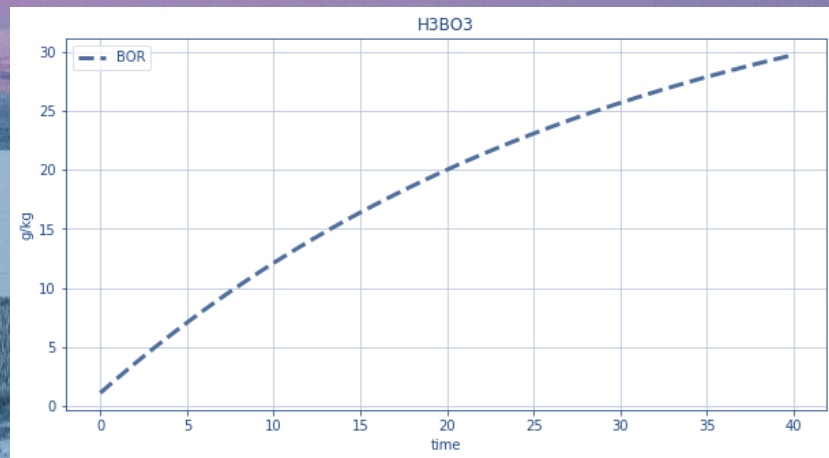
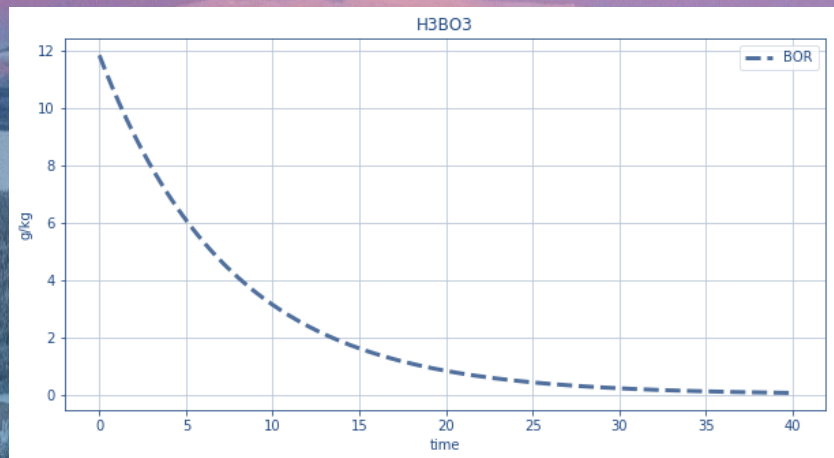
В результате преобразований получаем формулы для объема подпитки и времени достижения заданной концентрации

$$G = -\ln\left(\frac{C(t) - C_{\text{подп}}}{C_0 - C_{\text{подп}}}\right) * V * \frac{\gamma}{t}$$

$$t = -\ln\left(\frac{C(t) - C_{\text{подп}}}{C_0 - C_{\text{подп}}}\right) * V * \frac{\gamma}{G}$$

Результаты расчета

По полученным формулам проводится автоматизированный расчет



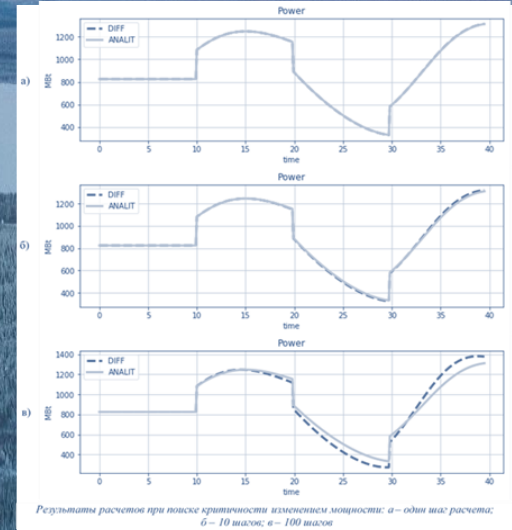
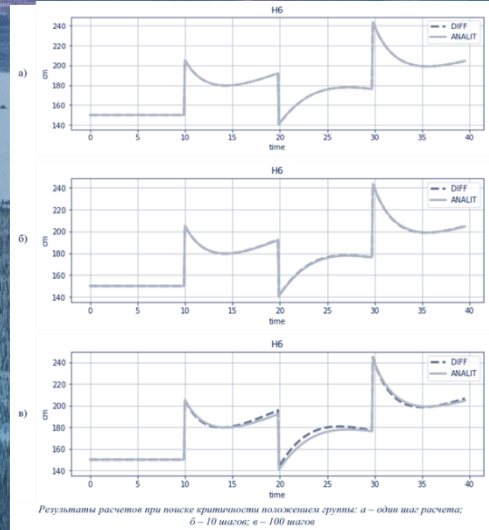
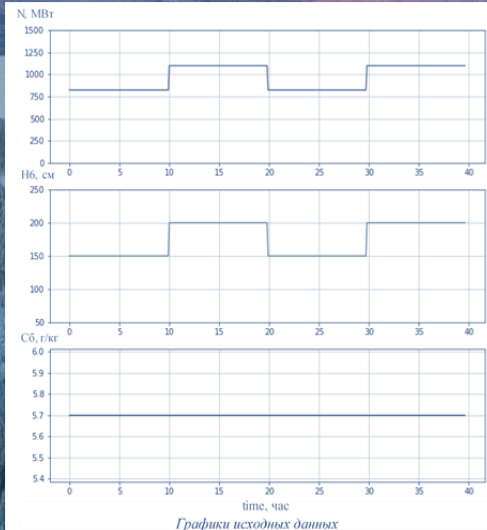
Решение уравнения баланса

Сравним полученные значения для классической системы дифференциальных уравнении и полученной аналитической формулы

$$dR = dR(dW, W) + dR(dH, H) + dR(dC) + dRdX)$$

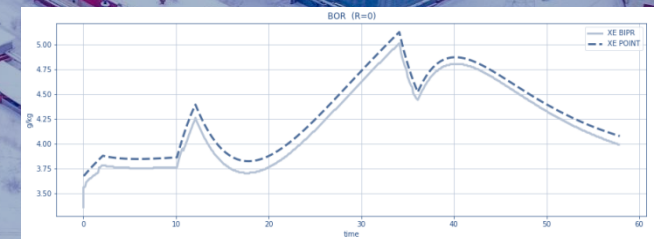
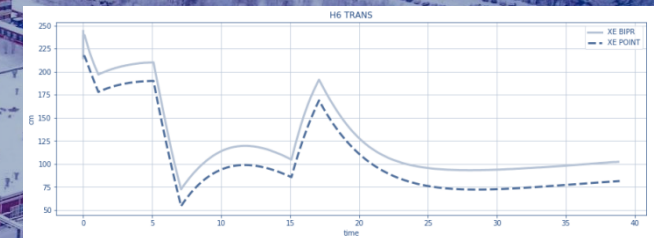
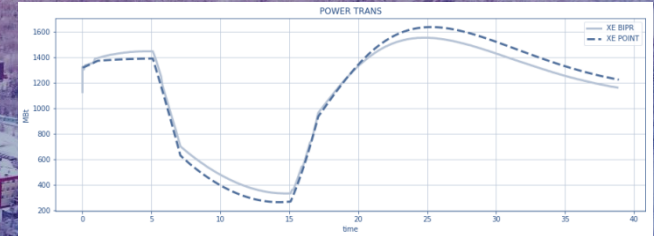
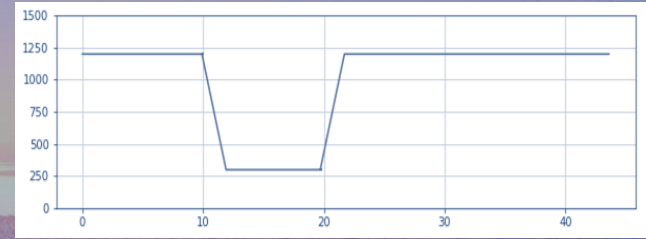
Расчет по аналитическим формулам превосходит дифференциальный метод по времени в 3 раза

При попытке оптимизации скорости расчета происходит накопление ошибки



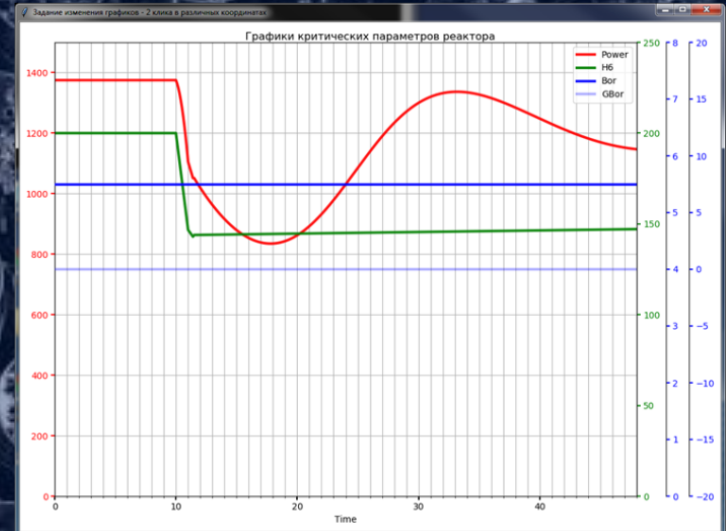
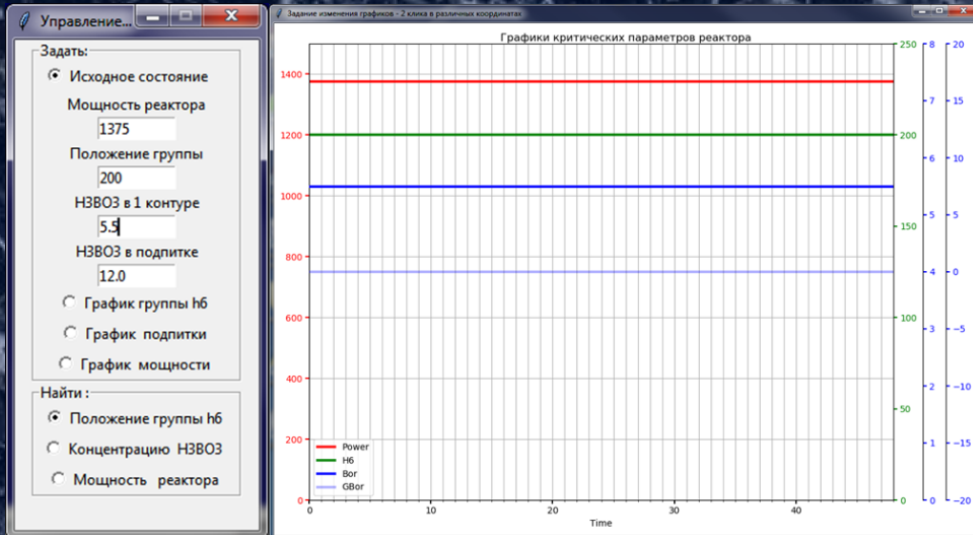
Сопоставление расчетов

Для дополнительного подтверждения достоверности результатов, получаемых при использовании разработанной модели, - сравним ее с прямыми расчетами по программе VIPR-7A, применяемой на АЭС для расчета НФХ, в частности переходных процессов на ксеноне.






Создание графического интерфейса

Для удобного использования полученной точечной модели в работе и большей наглядности был создан графический интерфейс позволяющий задавать в явном виде необходимые переходные режимы работы



Заключение

Для упрощения работы оперативного персонала при выполнении оперативных расчетов для переходных режимов работы:

-  Разработана простейшая точечная модель реактора для решения уравнения баланса реактивности
-  Полученная модель позволяет провести быстрый автоматизированный расчет для определения изменения критических параметров реактора
-  Разработан интерфейс для использования в работе оперативного персонала, позволяющий наглядно оценивать изменения критических параметров реактора

Спасибо за внимание

Фокина Юлия Дмитриевна

Отдел ядерной безопасности и надёжности
Кольская АЭС

Тел.: +7 (815) 324 24 30

Моб. тел.: +7 (981) 803 30 01

E-mail: fokinayd@kolnpp.rosenergoatom.ru

www.rosatom.ru

28 - 31.05.2024