

# МОДЕЛИРОВАНИЕ АКТИВНЫХ ЗОН БЫСТРЫХ РЕАКТОРОВ СО СВИНЦОВЫМ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕМ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ DOLCE VITA

Фомин А.А.<sup>1</sup>, Григорьева А.В.<sup>2</sup>, Чертков Ю.Б.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Томский политехнический университет, ИЯТШ, группа 0АМ22, aaf42@tpu.ru

<sup>2</sup>Томский политехнический университет, ИЯТШ, группа 0АМ31, avg86@tpu.ru

<sup>3</sup>Томский политехнический университет, ОЯТЦ ИЯТШ, доцент, chertkov@tpu.ru

## Введение

Замыкание ядерно-топливного цикла возможно с использованием ядерных реакторов на быстрых нейтронах с жидкотеплоносительным теплоносителем (ЖМТ). Один из передовых проектов в этой области – реактор естественной безопасности со свинцовым теплоносителем [1]. Существующие программы для расчёта нейтронно-физических характеристик приспособлены для расчёта реакторов на тепловых нейтронах, ввиду чего их применение для реакторов с ЖМТ ограничено. Одной из специализированных программ для расчёта реакторов на быстрых нейтронах является разработанный в ИБРАЕ расчётный код DOLCE VITA/E1.0 с графической оболочкой SMART.

Целью данной работы являлся расчёт ядерного реактора со свинцовым теплоносителем с помощью этой программы в стационарном и динамическом режимах работы.

## Описание алгоритма

Расчётный код DOLCE VITA/E1.0 предназначен для стационарных и динамических нейтронно-физических расчетов реакторов на быстрых нейтронах с ЖМТ. Расчётный код работает совместно с графической оболочкой SMART, позволяющей упростить работу с расчётным кодом и выходными файлами [2] и наглядно представить результаты ее работы. Достоинством расчётного кода является его быстродействие, возможности моделирования динамических процессов ядерного реактора, таких как изменение уровня мощности, перемещение регулирующих стержней.

Нейтронно-физический код DOLCE VITA/E1.0 реализован на языке программирования FORTRAN с использованием технологий параллельных расчетов MPI и OpenMP. Обеспечена совместимость с различными компиляторами FORTRAN. В коде DOLCE VITA/E1.0 нейтронно-физические характеристики реактора рассчитываются на основе многогруппового уравнения переноса нейтронов в диффузионном приближении [2].

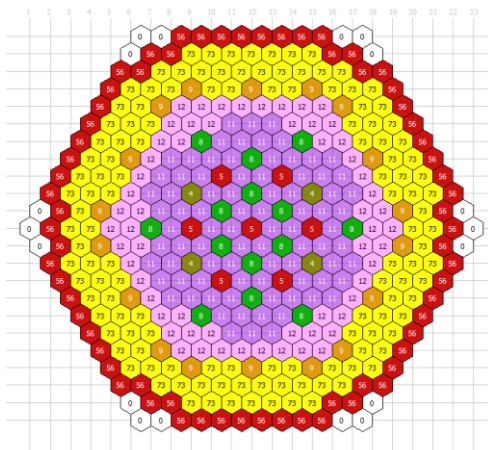


Рис. 1. Картограмма активной зоны реактора в графической оболочке SMART

В данной работе была создана расчетная модель ядерного реактора со свинцовым теплоносителем, проведены расчеты стационарного околокритического состояния и смоделирован процесс изменения его параметров при повышении мощности до 600 МВт. Для тестирования программы была создана модель данного реактора в рамках программы MCU-5TRU, проведены расчеты стационарного состояния.

В графической оболочке SMART была подготовлена расчётная модель ядерного реактора со свинцовым теплоносителем, картограмма активной зоны модели представлена на рис. 1 [3]. Сравнение

результатов расчета стационарного состояния данного реактора показало, что по расчетному коду DOLCE VITA/E1.0  $k_{eff}$  составил 1.004099, а по коду MCU-5TPU - 1.004301. Различие между значениями двух расчётных программ составило не более 0.02 %. Полученные результаты соответствуют заявленной точности расчёта кода DOLCE VITA/E1.0 при значительно меньшем времени расчёта и более простом создании моделей.

Моделирование динамического процесса повышения уровня мощности реактора с 0.1 %  $N_{ном}$  до 100 %  $N_{ном}$  было проведено с помощью программы DOLCE VITA/E1.0 и графической оболочки SMART. Использование системы контрольных функций позволило смоделировать перемещение регулирующих стержней в модели ядерного реактора и изменять время моделирования процесса изменения уровня мощности реактора [4].

Время увеличения мощности ядерного реактора в данном расчете составило 90 секунд. Для моделирования этого интервала времени компьютерное время работы составило ~120 минут. Изменение мощности реализовано при помощи четырёх стержней автоматического регулирования и 14 компенсирующих стержней, скорость перемещения стержней составила 3.2 см/с [3]. График моделирования процесса изменения тепловой мощности модели ядерного реактора представлен на рис. 2.

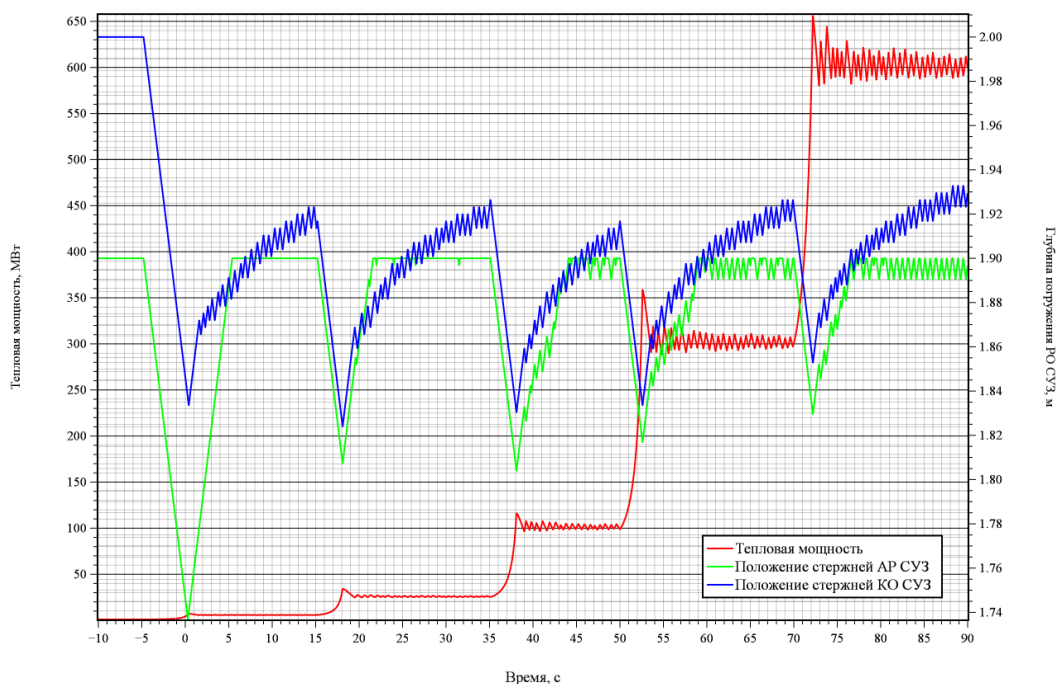


Рис. 2. Процесс изменения уровня мощности ядерного реактора с 0.1 %  $N_{ном}$  до 100 %  $N_{ном}$

На приведенной диаграмме изменения мощности хорошо просматривается реализованный алгоритм управления: для повышения мощности с помощью стержней автоматического регулирования вводится положительная реактивность. После достижения очередного уровня мощности проводится стабилизация мощности и перекомпенсация регулирующих органов: стержни АР возвращаются в исходное положение (1.90 м), а стержни КО компенсируют это перемещение и стабилизируют мощность и критическое состояние.

Представленный рисунок создан в графической оболочке SMART, с использованием встроенных инструментов по работе с выходными данными и оформлением графических материалов.

Совместное использование расчётного кода DOLCE VITA/E1.0 и графической оболочки SMART позволяет рассчитывать статические и динамические процессы в ядерном реакторе с ЖМТ, обрабатывать результаты расчёта во встроенном редакторе.

## Заключение

В работе было рассмотрено применение расчётного кода DOLCE VITA/E1.0 и графическая оболочка SMART для моделирования стационарного и динамического моделирования работы быстрого реактора с ЖМТ.

Эффективный коэффициент размножения нейтронов в двух программах: для DOLCE VITA/E1.0 значение  $k_{\text{eff}}$  составило 1.004099, для MCU  $k_{\text{eff}}$  - 1.004301. Сравнение результатов работы такого реактора в стационарном состоянии в изучаемом коде и коде MCU показало, что реактивность при расчетах отличается на ~0.02 %. Это показывает очень хорошую точность для стационарных нейтронно-физических расчётов.

Проведено моделирование динамического процесса изменения мощности ядерного реактора с 0.1 %  $N_{\text{ном}}$  до 100 %  $N_{\text{ном}}$ . Определено перемещение органов регулирования при изменении мощности, определена возможность использования DOLCE VITA/E1.0 для моделирования динамических процессов.

В дальнейшем планируется продолжение освоения программы DOLCE VITA/E1.0 и её графической оболочки SMART. Будет разработана аналогичная модель для реактора на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем, и рассчитаны динамические процессы с использованием расчётного кода DOLCE VITA/E1.0.

#### **Список использованных источников**

1. Саркисов А.А., Пучков В.Н. Нейтронно-физические процессы в быстрых реакторах с тяжелыми жидкометаллическими теплоносителями // Москва. – ИБРАЭ РАН. – Наука. – 2011. – 168 с.
2. Белов А.А. и др. Отраслевой нейтронно-физический расчетный код на базе диффузионного приближения. учебная версия 1.0 (DOLCE VITA/E1. 0) – 2019 – 315 с.
3. Сорокин А.П. и др. Теплогидравлические исследования активной зоны и узлов оборудования быстрых реакторов с жидкометаллическими теплоносителями // Труды Шестой Российской национальной конференции по теплообмену. – 2014. – С. 138-143.
4. Березнев В.П., Колташев Д.А., Шурыгин Р.Е. Кросс-верификация нейтронно-физических кодов CORNER и MCU-FR на моделях перспективных реакторов на быстрых нейтронах. – 2023 – 2 с.