

# МОДЕЛИРОВАНИЕ МОДЕЛИ ТОЧЕЧНОЙ КИНЕТИКИ ЯДЕРНОГО РЕАКТОРА НА ЯЗЫКЕ ПРОГРАММИРОВАНИЯ PYTHON

Качанов Д.Д.

ТПУ, ИШИТР, 8Т02, danil3@tpu.ru

## Введение

Ядерный реактор является примером объекта с распределенными параметрами. В современном мире реактор всегда находится в нестационарном состоянии. Это или переходные процессы, либо различные колебания мощности и других различных параметров относительно начальных установленных значений. В данной работе рассматривается модель «точечного» реактора. Для упрощения будем рассматривать значения реактивности, сохраняющиеся во времени, то есть скачкообразные изменения [1]. В нулевой момент времени реактор будет находиться в критическом состоянии, то есть  $\rho = 0$ , после чего происходит изменение реактивности, которое остается неизменным во времени. Для моделирования данной модели был использован язык программирования Python.

## Описание работы

Для рассмотрения и анализа кинетики реактора воспользуемся системой дифференциальных уравнений кинетики реактора, учитывая запаздывающие нейтроны.

Уравнения точечной кинетики представляют собой набор упрощенных уравнений, используемых для моделирования переходного процесса ядерного реактора. Эти уравнения описывают зависящие от времени изменения мощности реактора и популяции нейтронов в ответ на изменения реактивности. Уравнения точечной кинетики обычно выводятся на основе определенных допущений, таких как хорошо перемешанная активная зона реактора и постоянное время генерации нейтронов.

Обычно используют линеаризованную систему уравнений, но в данной работе мы будем работать именно с системой в исходном виде [2]. Основные уравнения показаны в формуле (1):

$$\begin{cases} \frac{dn(t)}{dt} = \frac{\rho(t) - \beta_3}{l} n(t) + \sum_{i=1}^6 \lambda_i C_i(t), \\ \frac{dC_i(t)}{dt} = \frac{\beta_{3i}}{l} n(t) - \lambda_i C_i(t); \end{cases}$$

где  $n(t)$  – мощность реактора;

$\rho(t)$  – реактивность;

$\beta_3$  – эффективная доля запаздывающих нейтронов;

$l$  – время жизни мгновенных нейтронов;

$C_i(t)$  – концентрация ядер предшественников запаздывающих нейтронов  $i$ -й группы;

$\lambda_i$  – постоянная распада ядер предшественников  $i$ -й группы;

$\beta_{3i}$  – доля запаздывающих нейтронов  $i$ -й группы.

Анализируя нестационарные процессы обычно используют шесть групп запаздывающих нейтронов. В таблице 1 приведены относительные доли и постоянные распада ядер-эмиттеров при делении урана-235 тепловыми нейтронами [3].

Таблица 1

*Постоянные для 6 групп запаздывающих нейтронов*

Номер группы	Постоянная распада $\lambda_i$ , 1/с	Относительная доля, $\beta_3/\beta_{3i}$
1	0,0124	0,033
2	0,0305	0,219
3	0,111	0,196
4	0,301	0,395
5	1,14	0,115
6	3,01	0,042

Результаты работы модели реактора, полученные в результате моделирования на языке программирования Python представлены ниже. На рис. 1 отображается скачек реактивности с течением вре-

мени. Рис. 2 отображает мощность реактора с течением времени, при повышении реактивности, мощность начинает увеличиваться. На рис. 3 – значения концентраций ядер предшественников запаздывающих нейтронов для 6 групп.

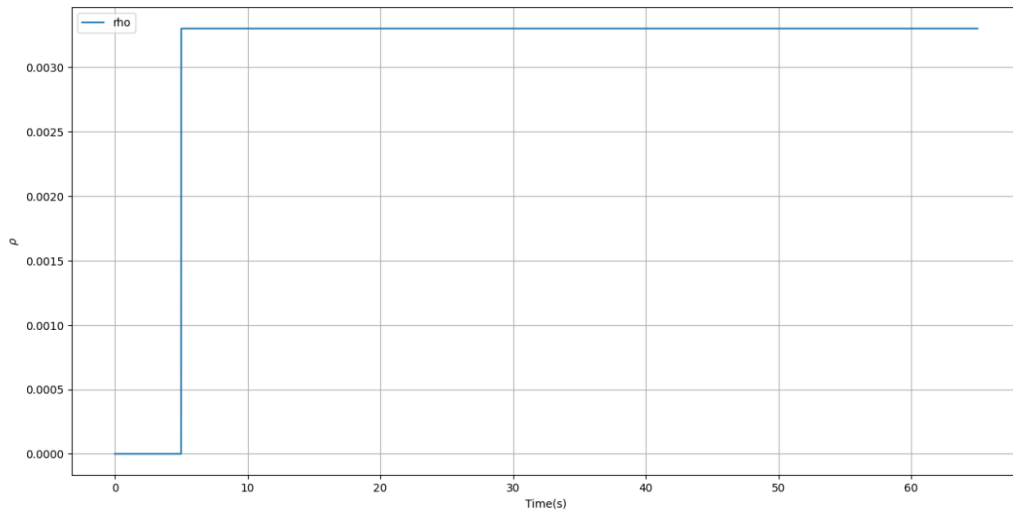


Рис. 1. График значения реактивности с течением времени

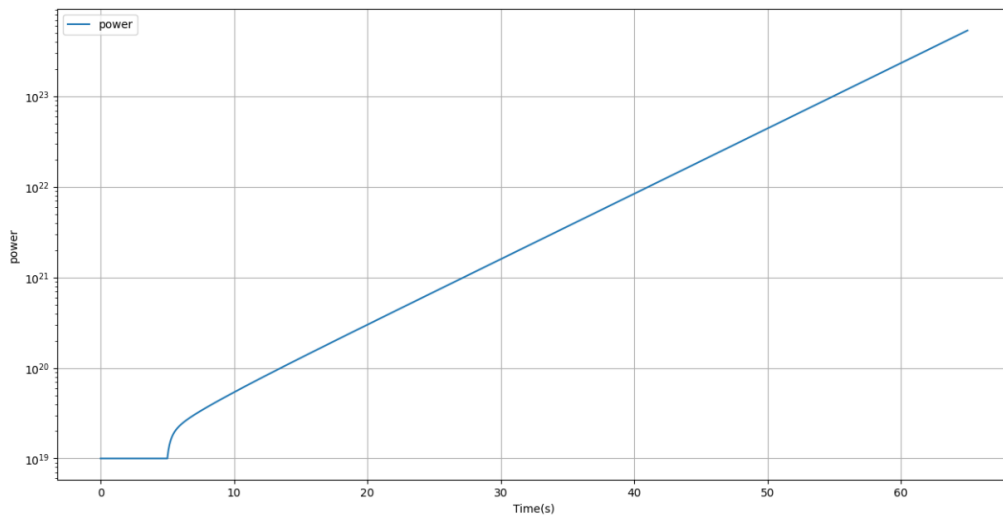


Рис. 2. График значения мощности реактора

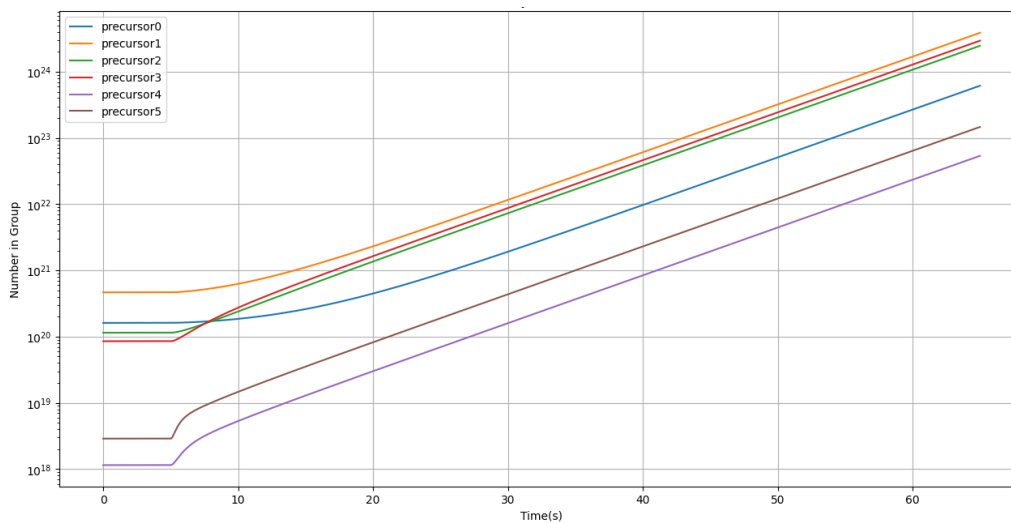


Рис. 3. График значений концентраций ядер нейтронов для 6 групп

## **Заключение**

В результате данной работы была получена модель “точечного” реактора, реализованная на языке Python. Модель основана на 7 дифференциальных уравнениях, включающих в себя константы для урана-235. Расчеты проводились при помощи метода интегрирования Эйлера. Интерфейс модели реализован при помощи библиотеки Tkinter.

## **Список использованных источников**

1. Климов, А.Н. Ядерная физика и ядерные реакторы: учебник / А.Н. Климов. – 3-е изд., стер. – Екатеринбург: АТП, 2015. – 350 с. – Текст: непосредственный.
2. Владимиров В.И. Физика ядерных реакторов: практические задачи по их эксплуатации / В.И. Владимиров. – 5-е изд., перераб. и доп. – Москва: URSS, 2009. – 478 с.: ил. – Текст: непосредственный.
3. Демченко В.А. Автоматизация и моделирование технологических процессов АЭС и ТЭС / В.А. Демченко. – Одесса: Астропринт, 2001. – 395с.