

Н.О. РЯБОВ, А.А. СЕМЕНОВ

Московский Инженерно-Физический Институт (Государственный Университет)

РАСЧЕТНО-АНАЛИТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ, ОПИСЫВАЮЩИХ КСЕНОНОВЫЕ КОЛЕБАНИЯ

В статье рассмотрена точечная модель ксеноновых колебаний с мощностной обратной связью. Выявлены безразмерные комплексы, определяющие тип колебаний. Получены области параметров этой модели, при которых наблюдаются разные типы колебательных процессов.

Одной из важных проблем эксплуатации ядерных реакторов является управление реактором в условиях протекания ксеноновых переходных процессов. Для прогнозирования развития этих процессов и их влияния на контрольные параметры реактора используются физическо-расчётные модели. Сложные распределённые модели активной зоны, такие как программный комплекс «ПРОСТОР», или модели семейства «БИПР», позволяют достаточно точно вычислять пространственные перераспределения энерговыделения во время ксеноновых переходных процессов. Изменением входных параметров таких моделей можно изменять характер ксеноновых колебаний и прогнозировать их развитие при помощи постановки численных экспериментов. Однако заранее определить параметры переходного процесса таким способом сложно. Для определения типа возбуждаемых переходных процессов нужно проводить оценки, опираясь на упрощённые модели реактора, которые оперируют небольшим количеством входных данных. Наиболее простая модель ксеноновых переходных процессов – точечная модель – которая не учитывает пространственное распределение параметров реактора. Используя эту модель можно аналитически получить некоторые оценки, позволяющие предсказывать тип переходных процессов при слабых возмущениях.

Уравнения модели ксеноновых колебаний без учёта пространственных эффектов имеют вид [1]:

$$\begin{cases} \frac{dX}{dt} = -\lambda_X X + \lambda_I I - \sigma_X X \Phi + \gamma_X \Sigma_f \Phi \\ \frac{dI}{dt} = -\lambda_I I + \gamma_I \Sigma_f \Phi \end{cases} \quad (1)$$

Усреднённое одностационарное диффузионное уравнение с учётом мощностной обратной связи для нейтронного потока имеет вид:

$$\left(\nu \Sigma_f - \Sigma_a - l - \sigma_X X + k_\Phi \frac{\Phi - \Phi_0}{\Phi_0} \right) \Phi = 0, \quad (2)$$

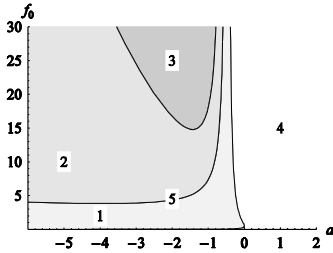


Рис.1. Диаграмма типов колебаний. 1 – устойчивый фокус, 2 – неустойчивый фокус, 3 – неустойчивый узел, 4 – устойчивый узел

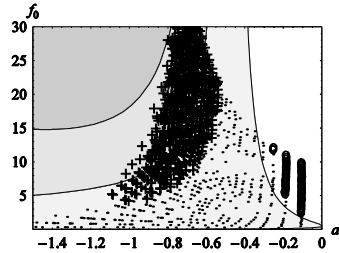


Рис.2. Сравнение результатов расчёта на распределённой модели и результатов исследования точечной модели ксеноновых колебаний

где l - коэффициент утечки.

Эти уравнения удастся обезразмерить, сократив таким образом количество параметров, определяющих свойство колебаний. Обезразмеренная система имеет вид:

$$\begin{aligned} \frac{dx}{d\tau} &= -(1 + f_0(1 + ax))x + \frac{f_0(1 + ax) + \gamma j}{1 + \gamma}; \\ \frac{dj}{d\tau} &= \lambda(f_0(1 + ax) - j). \end{aligned} \quad (3)$$

Параметры $\gamma = \gamma_x / \gamma_l$ и $\lambda = \lambda_x / \lambda_l$ являются константами, практически не зависящими от свойств реактора; параметры f_0 и a зависят от свойств реактора и определяют тип возникающих колебаний.

Обезразмеренную систему уравнений легко исследовать в окрестности точек равновесия [2]. В результате этого исследования были получены области на плоскости параметров a и f_0 , в которых моделируемая система имеет разные типы малых колебаний. Эти области изображены на рис.1.

Для оценки правильности проведённого исследования был проведён ряд расчётов переходных процессов, используя программный комплекс «ПРОСТОР», для разных параметров активной зоны. Определялся тип каждого переходного процесса и параметры a и f_0 для каждого состояния активной зоны. Таким образом, каждый переходной процесс определялся тремя свойствами: параметрами a и f_0 и типом колебательного процесса, и мог быть отображён на диаграмме типов колебаний как точка определённой формы. На рис.2 изображены точки, соответствующие множеству рассчитанных переходных процессов, на диаграмме типов колебаний. Видно, что одинаковые расчётные точки формируют области, границы которых повторяют границы областей диаграммы.

Таким образом, тип колебаний амплитуды 3-х мерного поля мощности и его изменения могут быть отслежены путём контроля только двух чи-

словых параметров a и f_0 . В дальнейшем планируется обобщение приведённых результатов на распределённую модель реактора с работающим регулятором мощности.

Список литературы

1. А.П. Рудик. Ксеноновые переходные процессы в ядерных реакторах. Москва, Атомиздат, 1974.
2. В.Д. Горяченко. Элементы теории колебаний. Издательство Красноярского университета, Красноярск 1995, С. 48 – 69.