



RU9604424

APPLICATION OF THE SIMILARITY THEORY FOR OPTIMIZATION OF FAST REACTOR SAFETY CHARACTERISTICS.

Belov D. Ju., Alekseev P.N. Nuclear Safety Institute RRC 'Kurchatov Institute'.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕОРИИ ПОДОБИЯ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ХАРАКТЕРИСТИК БЕЗОПАСНОСТИ БЫСТРЫХ РЕАКТОРОВ.

Белов Д.Ю., Алексеев П.Н. Институт Проблем безопасности ядерной энергетики РНЦ 'Курчатовский Институт'.

A problem of obtaining a number of powers for FBR's with required safety properties was set. A solution algorithm, using the similarity and linear perturbation theories was realized.

В настоящее время большое внимание в силу известных причин уделяется обеспечению гарантированной безопасности реакторных установок, их устойчивости к тяжелым авариям с радиоактивными выбросами в окружающую среду. В предлагаемой работе ставилась задача получения мощностного ряда быстрых реакторов с требуемыми свойствами безопасности. Был реализован алгоритм решения, использующий теорию подобия (ТП) [1] и приближение линейной теории возмущений (ЛТВ).

Предположим, что имеется некий критический реактор, имеющий мощность W_1 и набор эффектов реактивности (ER): $ER_1 = \vec{C}$; где \vec{C} - получен из требований безопасности. Для сохранения экономической эффективности считаем также, что средняя линейная нагрузка на твэл $\bar{q}_l = const$ для всего рассматриваемого мощностного ряда реакторов.

Необходимо получить новый критический реактор с заданной мощностью W_2 , для которого выполняется условие $ER_2 = \vec{C}$.

Последовательность получения $ER_2 = \vec{C}$ для нового реактора такова (рис.1):

1. С помощью ЛТВ реактор с мощностью W_1 преобразуется так, чтобы для него выполнялись следующие условия: $ER_1 = \vec{C}, W = W_1, k_{eff} = 1, \bar{q}_l = q_0$ [2].

2. На основе алгоритмов ТП, совершается переход к реактору с мощностью W_2 с определением его новых размеров и макросечений. В этом реакторе пока $ER_1 \neq \vec{C}$.

3. Зная новые групповые макросечения, можно найти новые ядерные концентрации элементов АЗ этого реактора, при которых в нем выполняются условия подобия, обеспечивается критичность в номинальном состоянии и $ER_2 = \vec{C}$. Для этого необходимо сформировать, проанализировать и решить систему неоднородных линейных

уравнений с известной правой частью вида: $\hat{A} \vec{X} = \vec{B}$, где \hat{A} матрица коэффициентов, представляющих собой групповые порциальные микросечения взаимодействия нейтронов с ядрами отдельных элементов активной зоны, считающиеся неизменными; \vec{X} - вектор искомых ядерных концентраций элементов активной зоны; \vec{B} - известная правая часть, представляющая из себя вектор макросечений для нового реактора.

Для исследования, а также целенаправленного и эффективного изменения характеристик ядерной безопасности и других важных реакторных функционалов, необходимо знать характер влияния на них различных технологических параметров и ядерных данных. Количественной мерой такого влияния служат коэффициенты чувствительности (КЧ).

определяемые с помощью ЛТВ. Одно из уравнений системы $\hat{A}\vec{X} = \vec{B}$ сформировано на основе ЛТВ для обеспечения $k_{eff} = 1$ в номинальном состоянии нового реактора. Последовательность реализации методики в сферической геометрии, приведена на рис. 1.

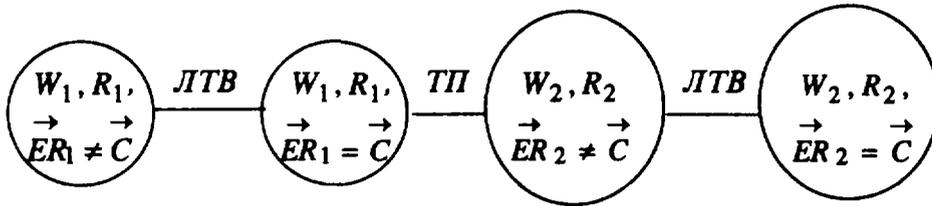


Рис. 1 Схема, иллюстрирующая методику получения $\vec{ER} = \vec{C}$ для реакторов с мощностью W_1 и W_2 . Реакторы критичны и имеют одинаковую среднюю линейную нагрузку на твэл.

Из общих положений ТП следует, что условием физического подобия реакторов является их геометрическое подобие и равенство безразмерных макроскопических сечений $\Sigma_0 = \Sigma R$, где R - характерный размер реактора.

Так как связь между координатами соответственных точек \vec{r} и \vec{r}_0 двух подобных форм с характерными размерами R и R_0 устанавливается в виде: $\vec{r} = \frac{R}{R_0} \vec{r}_0$, то существует класс эквивалентных реакторов подобных форм, между координатами соответственных точек которых имеет место эта связь. Ценности в сходственных точках подобных реакторов равны.

Используем описанную выше методику по аналогии с [3] для обеспечения нулевого значения натриевого пустотного эффекта реактивности (НПЭР) для гомогенных, сферических, голых, критических реакторов с мощностью W_1 и W_2 .

1. Допустим, что маленький критический реактор с мощностью W_1 имеет ненулевой НПЭР. Необходимо, изменяя размеры и обогащение этого реактора при помощи ЛТВ, добиться выполнения необходимого условия НПЭР=0. Построим две системы уравнений для двух состояний реактора - номинального и опустошенного, в

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta \left(\frac{1}{k_{eff}^n} \right)_X = (k^n)_X \frac{\Delta X}{X} \\ \Delta \left(\frac{1}{k_{eff}^n} \right)_R = (k^n)_R \frac{\Delta R}{R} \end{array} \right.$$

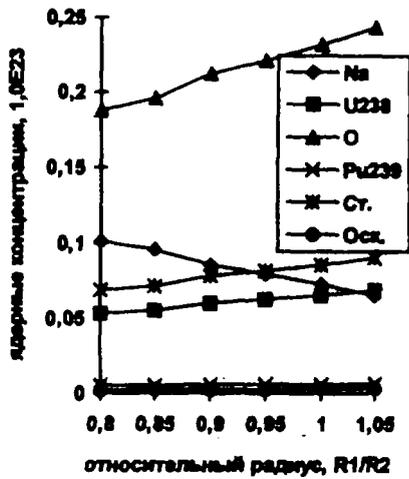
которых $(k^n)_X$ - КЧ к изменению обогащения для номинального реактора; $(k^n)_R$ - КЧ к изменению размера для номинального реактора; $(k^v)_X$ - КЧ к изменению обогащения для опустошенного реактора; $(k^v)_R$ - КЧ к изменению размера для реактора без натрия. Решая совместно эти системы, получаем размер и обогащение маленького исходного реактора, при которых он обладает НПЭР=0 и $k_{eff} = 1$.

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta \left(\frac{1}{k_{eff}^v} \right)_X = (k^v)_X \frac{\Delta X}{X} \\ \Delta \left(\frac{1}{k_{eff}^v} \right)_R = (k^v)_R \frac{\Delta R}{R} \end{array} \right.$$

2. Перейдем с помощью ТП к новому критическому реактору с мощностью W_2 , определив при этом его размеры и макросечения.

3. Следующим шагом необходимо, выполняя условия подобия для нового опустошенного реактора и обеспечивая критичность нового реактора в номинальном состоянии, найти новые ядерные концентрации элементов, при которых выполняется условие НПЭР=0.

Рис.2 Одногрупповое приближение.



Наиболее очевидным решением поставленной задачи является изменение ядерных концентраций всех элементов пропорционально отношению размеров подобных реакторов R_1/R_2 , т.е. с помощью ввода пористости в элементы АЗ. При увеличении размера реактора происходит уменьшение объемных долей всех элементов АЗ. Это решение следует из соотношения для макросечений в двух подобных реакторах: $\epsilon_2 = \frac{R_1}{R_2} \epsilon_1$, где ϵ - объемная доля элемента в АЗ реактора.

Для нахождения других возможных решений решалась описанная выше система $\hat{A}\vec{X} = \vec{B}$ в одногрупповом приближении. На рис.2 приведена зависимость изменения ядерных концентраций элементов АЗ от изменения размера нового реактора, подобного исходному, при которых НПЭР=0. Из рисунка видно, что с увеличением радиуса доля теплоносителя растет, а доли топлива и

конструкционных материалов уменьшаются.

Заключение.

Описанная выше методика, использующая ТП и ЛТВ, облегчает получение мощностного ряда быстрых реакторов с требуемыми свойствами безопасности. Для иллюстрации методики приведены примеры быстрых реакторов с НПЭР=0. Расчеты проводились в малогрупповом диффузионном приближении для однозонных гомогенных сферических моделей реакторов без учета изменения самоэкранировки групповых микросечений.

Из результатов расчетов следует, что одним из решений, удовлетворяющих условию НПЭР=0, при увеличении размера АЗ для моделей реакторов, подобных исходному, является ввод пористости, другим - увеличение объемного содержания натрия.

В дальнейшем предполагается применить эту методику к оптимизации в реальной трехмерной геометрии полного набора важных нейтронно - физических характеристик быстрых реакторов, включая эффекты реактивности, в реальной трехмерной геометрии.

Литература.

1. Шихов С.Б. Учет влияния изменения размеров на критическую массу быстрого реактора с помощью теории возмущений. - *Атомная энергия*, 1959, т.6, в.2, с. 162-168;
2. Ядерные реакторы повышенной безопасности (анализ концептуальных разработок) Новиков В.М., Слесарев И.С., Алексеев П.Н., Игнатьев В.В., Субботин С.А.-М.: Энергоатомиздат, 1993, 384 с.
3. Ваньков А.А., Стогов В.Ю., Зяблицев Д.Н. Реактор БН с нулевым натриевым коэффициентом реактивности в экологически приемлемом топливном цикле. / *Науч.-техн. проблемы безопас. АЭС и пробл. подгот. спец. для нужд ядер. энерг.* : Сб. докладов 2-ой Междунар. конф., Обнинск, 8-11 окт., 1991, с. 147-153.