

Баршонь Саболч (Венгрия)

Томский политехнический университет, г. Томск

Научные руководители: Нестеров Владимир Николаевич, к.т.н., доцент,
Кузнецов Михаил Сергеевич, к.т.н., доцент

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НЕЙТРОННО-ФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РЕАКТОРА ВВЭР 1000

Введение

Водо-водяной энергетический реактор (ВВЭР) относится к самому распространенному типу реакторов с водой под давлением

Реакторы водо-водяного типа с обычной («легкой») водой под давлением нашли широкое применение в России. В Венгрии этот тип реактора также находится в эксплуатации. Половина произведенной внутри страны электроэнергии обеспечивается действующей в настоящее время атомной электростанцией, что покрывает одну треть потребляемой электроэнергии.

Важно и актуально разобраться с этим реактором более детально, потому что в конце 2014 года Россия и Венгрия подписали документы о строительстве в АЭС "Пакш" новых энергоблоков ВВЭР-1200. В связи с вышесказанным, целью данной работы является определение нейтронно-физических параметров реактора ВВЭР-1000 [1].

В докладе представлены в двух словах структура реактора ВВЭР а также работа реактора, после теоретической части речь идёт о нижеследующих задачах:

- провести анализ конструктивных особенностей и эксплуатационных параметров реактора ВВЭР-1000;
- определить спектр плотности потока нейтронов путем решения системы многогрупповых уравнений диффузии нейтронов итерационным способом;
- определить значение плотностей потоков нейтронов и запаса реактивности;

Эксплуатационные параметры и конструкция активной зоны реакторной установки ВВЭР-1000

Приведём краткое описание активной зоны корпусного водо-водяного реактора с водой под давлением (ВВЭР-1000).

В настоящее время таких реакторов построено и находится в эксплуатации довольно большое количество. Все узлы реактора находятся внутри прочного корпуса, представляющего собой вертикальный толстостенный сосуд с днищем, сверху закрываемый объёмной крышкой. В верхней части боковой цилиндрической поверхности корпуса располо-

жены патрубки для подвода и отвода теплоносителя. Для опоры и дистанционирования топливных кассет, а также для организации потока теплоносителя внутри корпуса реактора служит корзина активной зоны, обычно представляющая собой обечайку, в которой в нижней части крепится опорная плита, а в верхней - устройство для дистанционирования топливных кассет. Активная зона реактора собрана из стержней, объединённых в шестигранные кассеты. Стержни омываются снаружи обычной водой под давлением. Активная зона ВВЭР-1000 состоит из шестигранных кассет. Основные параметры активной зоны, кассет и ТВЭЛов (таблица 1.)

Таблица 1

Основные параметры активной зоны ВВЭР-1000 [2].

Параметры	Значение ВВЭР-1000
Топливо	Таблетки UO ₂
Обогащение (U235, %)	4%
Эффективный радиус активной зоны	156 см
Высота активной зоны	355 см
Объём активной зоны	27,0 м
Отношение площади замедлителя к площади топлива	2,00 м
Размер кассеты под ключ	238 мм
Шаг расположения кассет	241 мм
Толщина стенки кассет	1,5 мм
Высота кассеты	4665 мм
Число твэлов в кассете	317 шт
Шаг размещения твэлов	12,76 мм
Размеры оболочки твэлов	9,1 x 0,65 мм
Материал оболочки твэлов	цирконий с добавкой 1% ниобия

В таблице 2 представлены данные гомогенизированных концентраций, по которым производился многогрупповой расчет.

Таблица 2

Концентрация гетеро- и гомогенизированных элементов

Элемент	N, ядра/см ³	Ni, ядра/см ³
UO ₂	2,275·10 ²²	–
U235	9,101·10 ²⁰	2,778·10 ²⁰
U238	2,184·10 ²²	6,668·10 ²¹

О (топливо)	4,551·1022	3,190·1022
H2O	3,346·1022	–
О (теплоноситель)	3,346·1022	–
H	6,692·1022	3,602·1022
Zr	4,259·1022	5,218·1021
Nb	4,209·1020	5,157·1019
He	2,287·1017	6,202·1017

Используя следующее уравнение, реализован итерационный метод решения уравнения переноса нейтронов в диффузионном многогрупповом приближении. С использованием данных о выходе нейтронов и многогруппового диффузионного приближения, получено распределение спектров плотности потока нейтронов.

Многогрупповая система уравнений диффузии для критического ядерного реактора имеет вид:

$$D^{(i)}\Delta\Phi^{(i)} - \Sigma_a^{(i)}\Phi^{(i)} - \sum_{k=i+1}^{26} \Sigma_R^{i \rightarrow k} \Phi^{(i)} + \sum_{k=1}^{i-1} \Sigma_R^{k \rightarrow i} \Phi^{(k)} + \epsilon^{(i)} \sum_{k=1}^{26} \nu_f^{(k)} \Sigma_f^{(k)} \Phi^{(k)} = 0 \quad (1.1)$$

Первое слагаемое описывает диффузионную утечку нейтронов. В последнем слагаемом происходит свёртка групповых произведений числа нейтронов, образующихся в реакции деления с сечениями деления. Оставшаяся часть уравнения при описании нейтронов быстрой группы, характеризует полную потерю (увод) нейтронов.

Согласно уравнению критического реактора, в диффузионно-возрастном приближении первое слагаемое в уравнении (1.1), описывающее утечку нейтронов из активной зоны, будет определяться по соотношению:

$$D^{(i)}\Delta\Phi^{(i)} = -D^{(i)}B^2\Phi^{(i)}, \quad (1.2)$$

где B^2 – геометрический параметр.

Для организации итерационного процесса при решении системы уравнений в рассматриваемой задаче необходимо составить систему уравнений для определения плотностей потоков нейтронов следующего вида:

$$\Phi_j^{(i)} = f(\Phi_{j-1}^{(1)}, \Phi_{j-1}^{(2)}, \dots, \Phi_{j-1}^{(k)}, \dots, \Phi_{j-1}^{(26)}), \quad \text{при } k \neq i,$$

где j – номер итерации, начиная с первой.

С этой целью систему многогрупповых уравнений диффузии с учетом соотношения (1.2) необходимо привести к виду:

$$-D^{(i)}B^2\Phi^{(i)} - \Sigma_a^{(i)}\Phi^{(i)} - \sum_{k=i+1}^{26} \Sigma_R^{i \rightarrow k} \Phi^{(k)} + \sum_{k=1}^{i-1} \Sigma_R^{k \rightarrow i} \Phi^{(k)} + \varepsilon^{(i)} \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^{26} \nu_f^{(k)} \Sigma_f^{(k)} \Phi^{(k)} + \varepsilon^{(i)} \nu_f^{(i)} \Sigma_f^{(i)} \Phi^{(i)} = 0 \quad (1.3)$$

Выражая значение плотности потока в i -ой группе из (1.3) получим:

$$\Phi_j^{(i)} = \frac{\varepsilon^{(i)} \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^{26} \nu_f^{(k)} \Sigma_f^{(k)} \Phi_{j-1}^{(k)} + \sum_{k=1}^{i-1} \Sigma_R^{k \rightarrow i} \Phi_j^{(k)}}{D^{(i)}B^2 + \Sigma_a^{(i)} + \sum_{k=i+1}^{26} \Sigma_R^{i \rightarrow k} - \varepsilon^{(i)} \nu_f^{(i)} \Sigma_f^{(i)}} \quad (1.4)$$

и рассчитаем поток нейтронов для каждой группы.

На данном графике представлен результат проведенного итерационного процесса для 26-ти групп, где был получен спектр потока нейтронов в относительных единицах для горячего реактора (Рис.1.).

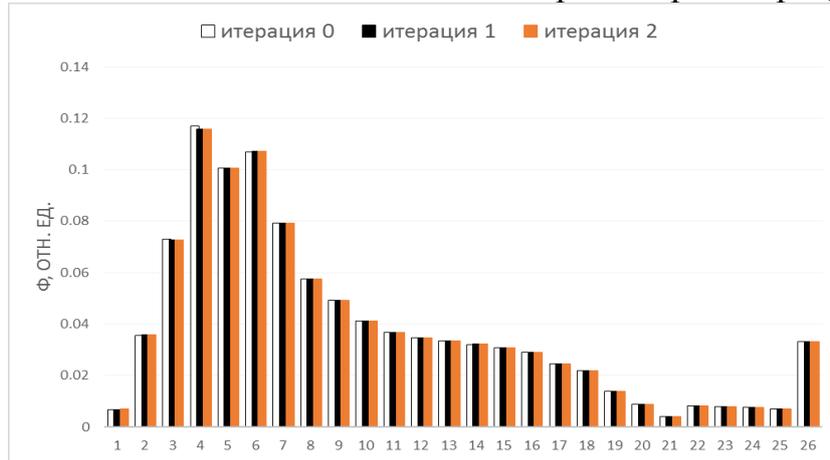


Рис.1. В результате проведенного итерационного процесса для 26-ти групп

Далее определяем плотность потока нейтронов, по следующей формуле:

$$\Phi = \frac{Q}{E_f \bar{\Sigma}_f^{АкЗ} V_{АкЗ}}, \quad (2.1)$$

Для оценки условий поддержания цепной реакции деления вводят понятие о коэффициенте размножения. Коэффициентом размножения K_{eff} называют отношение числа нейтронов некоторого поколения к соответствующему числу нейтронов поколения, непосредственно ему предшествующего.

Эффективный коэффициент размножения рассчитывается по следующей формуле:

$$k_{\text{эф}} = \frac{v_f \Sigma_f}{DB^2 + \Sigma_a}, \quad (2.2)$$

На рисунке представлен график в относительных единицах для горячего и холодного состояния реактора (Рис.2.).

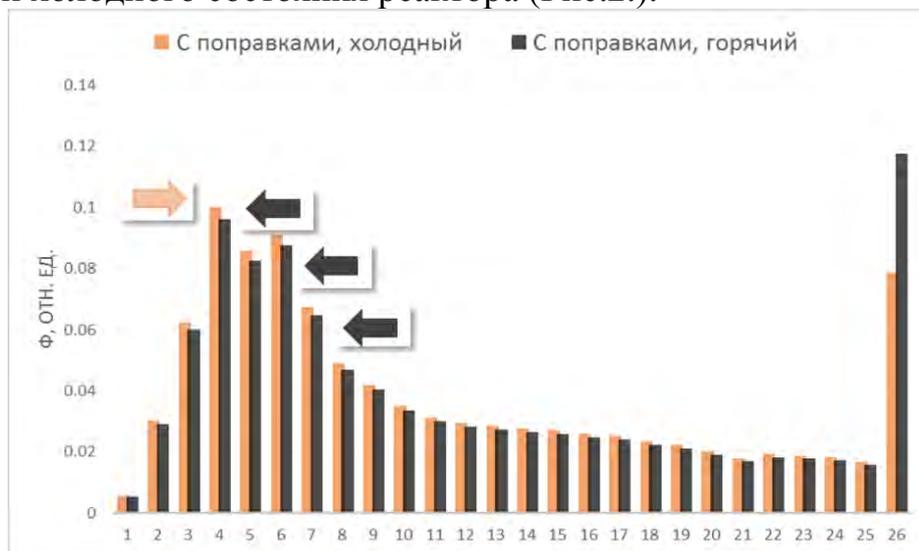


Рис.2. Спектр плотности потока нейтронов в относительных единицах для холодного и горячего реактора

Из графика видно, что в горячем состоянии количество тепловых нейтронов падает, что влечёт к уменьшению реактивности, а следовательно, к защищенности ядерного реактора. Уменьшение температуры влечет уменьшение эффекта самоэкранировки, то есть нейтроны не замедляются, а поглощаются ядрами U^{238} , следовательно в тепловой группе их становится меньше.

В качестве поглотителя в реакторах типа ВВЭР используют стержни из карбида бора (B_4C). Необходимое количество карбид бора должно быть таким, чтобы реактор оказался в критическом состоянии, для компенсации избыточной реактивности.

Изменение спектров плотностей потоков нейтронов до компенсации реактивности и после изображен на рисунке 3.

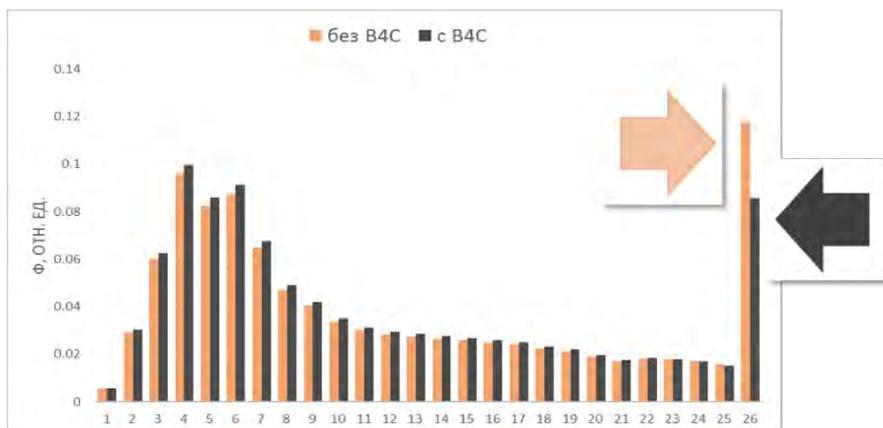


Рис. 3. Изменение спектров плотностей потоков нейтронов до и после компенсации реактивности в относительных единицах

Проанализировав полученную диаграмму, можно заметить, что основное влияние поглотителя приходится на тепловую группу. Это вызвано тем, что увеличивается макроскопическое сечение поглощения нейтронов тепловой группы, что приводит к уменьшению их числа.

Заключение

В работе кратко представлены принцип действия и структура реактора ВВЭР, затем выполнен анализ и определен спектр плотности потока нейтронов для активной зоны реактора в «холодном» и «горячем» состояниях. Проверена сходимость итерационного процесса. Проведена нормировка спектра потока нейтронов на мощность.

Проведен многогрупповой расчет, где определен запас реактивности для «холодного» (0,2571) и «горячего» реактора (0,2369).

Определено влияние карбида бора на спектр плотности потока нейтронов при компенсации избыточной реактивности, а также найдено необходимое значение его концентрации для поддержания критического состояния реактора ($N_{B_4C} = 2,4 \cdot 10^{19}$ молекул/см³).

Найдены значения суммарной плотности потока нейтронов $\Phi=3,038 \cdot 10^{13}$ нейтрон/см²с и плотности потока тепловых нейтронов $\Phi=2,598 \cdot 10^{12}$ нейтрон/см²с.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. С.А. Андрушенко, А.М. Афров, Б.Ю. Васильев, В.Н. Генералов, К.Б. Косоуров, Ю.М. Семченков, В.Ф. Украинцев, АЭС с реактором типа ВВЭР-1000, От физических основ эксплуатации до эволюции проекта, Москва –Логос 2010. –179-199 с.

2. Бойко В.И. и др. Физический расчет ядерного реактора на тепловых нейтронах – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009.

Болатова Жанар (Казахстан),
Папина Юлия Владимировна* (Россия)

Томский политехнический университет г. Томск

*Центральный национальный университет (г. Таюань, Тайвань)

Научный руководитель: Годымчук Анна Юрьевна,
к.т.н., доцент отделения материаловедения ИШНПТ НИ ТПУ;
ведущий эксперт кафедры функциональных наносистем
и высокотемпературных материалов НИТУ «МИСиС»

КОЛЛОИДНЫЕ СВОЙСТВА НАНОЧАСТИЦ В РАСТВОРАХ ПРИ АДСОРБЦИИ АМИНОКИСЛОТ

Введение

Увеличение ежегодных объемов производства наночастиц ZnO обусловлено широким применением в пластмассах, керамике, в смазочных материалах, красках, покрытиях, а также при изготовлении средств личной гигиены и косметики [1]. Исследования показывают, что в процессе производства товаров и их утилизации наночастицы в «свободном состоянии» могут попадать в окружающую среду и потенциально накапливаться в пищевой цепи [2] и, в конечном итоге, в организмах более высокого уровня [3].

При попадании в окружающую среду наночастицы вступают во взаимодействие со своим окружением, что влияет на химию поверхности, заряд частиц и приводит к агломерации [4, 5], это сильно влияет на их токсичность [6, 7]. Поэтому важно понимать экологическую судьбу наночастиц и их потенциальное влияние на экосистему.

Аминокислоты являются неотъемлемыми составляющими белков, являются компонентами биологических жидкостей, лекарственных и косметических средств, а также в свободном виде могут присутствовать в почве [8, 9]. В литературе показано, что адсорбция аминокислот на поверхности наночастиц может существенно менять поведение частиц, усиливая или ослабевая агломерацию в водных средах [10]. Поэтому изучение их влияния на физико–химические свойства наночастиц является важной задачей понимания особенностей взаимодействия наночастиц с биоокружением, что позволяет прогнозировать токсичность