

ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ РАСЧЕТА НАЧАЛЬНОЙ РЕАКТИВНОСТИ ТЕПЛОВОГО РЕАКТОРА НА МОКС-ТОПЛИВЕ ЧЕТЫРЕХГРУППОВЫМ МЕТОДОМ

Егоров М.Ю. (ГУАП, Санкт-Петербург, Россия; СПбГЛТУ, Санкт-Петербург,
Россия; ПГУПС, Санкт-Петербург, Россия),
Блинников А.А. (ГУАП, Санкт-Петербург, Россия)

Введение

На данный момент опубликовано недостаточно работ по сравнению погрешности расчетных значений характеристик для реакторных установок с традиционным и смешанным уран-плутониевым топливом [1].

Цель исследования – сравнение точности расчета реактивности при использовании МОКС-топлива на тепловых реакторах типа ВВЭР-1000 четырехгрупповым методом и методом четырех сомножителей.

Требования к точности вычислений отличаются для различных приближений расчетов. Для оценочных (первичных) расчетов допустимы погрешности порядка 10%, что несущественно повлияет на общую картину исследования. По оценочным результатам вычислений реактивности можно сделать вывод о целесообразности дальнейших расчетов нейтронно-физических показателей. Для реальных ЯЭУ, точных теоретических расчетов требуются более трудоемкие методы.

Методы и материалы

Расчетной моделью принят реактор ВВЭР-1000 на МОКС-топливе с 5% обогащением (табл. 1), с использованием библиотеки ядерных констант БНАБ-93 [2]. Вычисления были проведены четырех-групповым методом и методом четырех сомножителей (табл. 2).

Таблица 1

Состав топлива (5% обогащение) и концентрации Pu по изотопам

Состав топлива	Состав плутония по изотопам				
^{238}U 95%	^{238}Pu 2%	^{239}Pu 52%	^{240}Pu 24%	^{241}Pu 15%	^{242}Pu 6%
1,5% Pu	0,03%	0,78%	0,36%	0,225%	0,09%
2,5% Pu	0,05%	1,3%	0,6%	0,375%	0,15%
3,5% Pu	0,07%	1,82%	0,84%	0,525%	0,21%

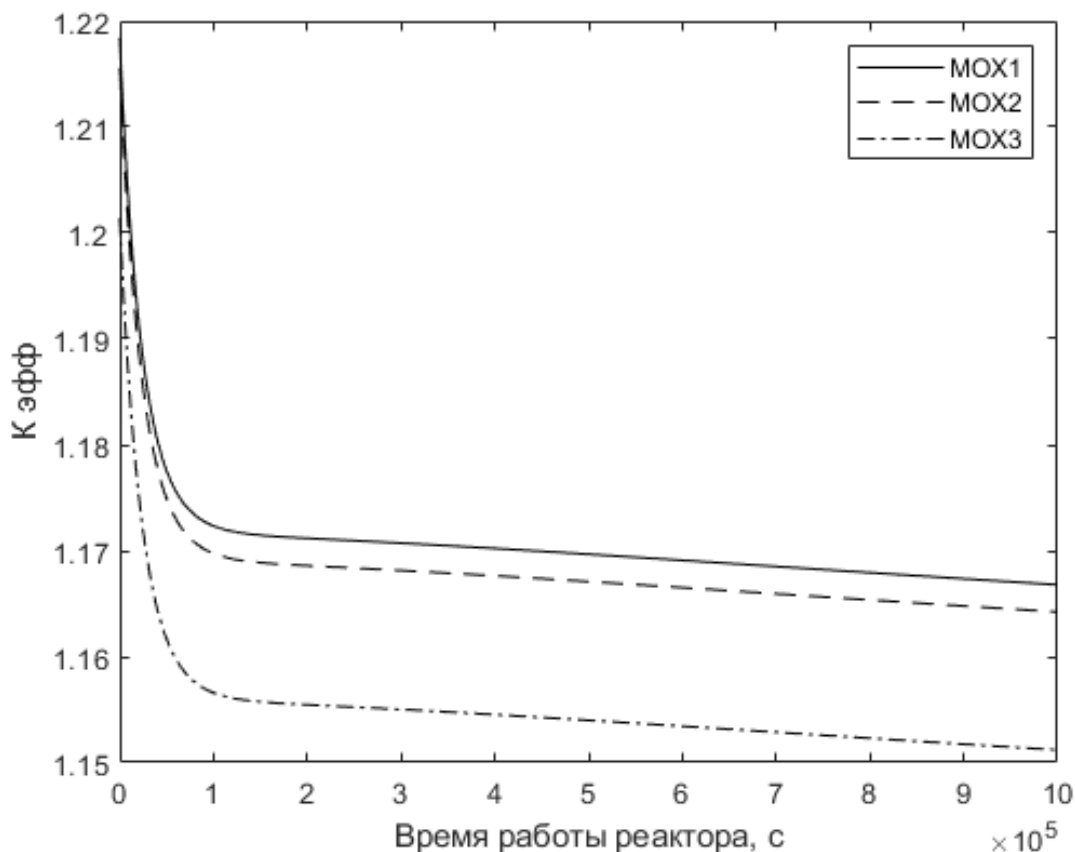
Таблица 2

**Результаты расчета эффективного коэффициента размножения
методом четырех сомножителей**

Топливная композиция	$K_{эфф}$
№1	1,2184
№2	1,2156
№3	1,2014

Коэффициенты размножения, рассчитанные методом четырех сомножителей, соответствуют значениям загрузки традиционным топливом для данного типа реакторов.

Изменение коэффициента размножения напрямую зависит от накопления отравителей и шлаком, таких как ксенон и самарий, но их влияние будет одинаковым независимо от выбранной методики расчета. Таким образом, достаточно оценить динамику изменения только для одного из методов, см. рис.



Изменение эффективного коэффициента размножения в ходе работы реактора.

Результаты и их анализ

Групповой метод подразумевает разделение спектра нейтронов на условные энергетические группы, в нашем случае их четыре: тепловая (0-0,625 эВ), резонансная (0,625-5000 эВ), промежуточная (5-800 кэВ) и быстрая (0,8-10 МэВ), т.е. учитывается различие энергий в отдельных группах нейтронов. В пределах данных групп проводится подготовка групповых констант, например - сечений взаимодействия. Для каждой

из групп отдельно вычисляется плотность потока нейтронов, проводится гомогенизация, по модели ячейки вводятся весовые коэффициенты. Также учитываются поправки на тепловые расширения и смещение спектра, что позволяет получить данные для холодного и горячего состояний реактора (300 К и 1300 К) (табл. 3).

Наибольшие расхождения в расчетах отмечаются в начале работы реактора. По мере выгорания топлива уменьшается погрешность измерений [3]. Воспроизводство топлива максимально в начале работы реактора, поэтому о крайней степени утилизации плутония можно судить по начальному коэффициенту воспроизводства (табл. 4). В случае МОКС топлива, данные по воспроизводству оказываются достовернее по сравнению с традиционным топливом, поскольку относительная концентрация урана в МОКС-сборке меньше. Стоит отметить, что, применительно к легководным реакторам, существенных отличий между значениями погрешностей (неопределенностей) между традиционным и МОКС-топливом не отмечается [4].

Таблица 3

Результаты расчета эффективного коэффициента размножения четырехгрупповым методом

Топливная композиция	$K_{эфф}$ Холодное состояние	$K_{эфф}$ Горячее состояние
№1	1,1713	1,1199
№2	1,0596	1,0171
№3	0,9725	0,9376

Таблица 4

Коэффициенты воспроизводства плутония в начальный момент времени

Топливная композиция	Коэффициент воспроизводства
№1	0,4244
№2	0,4757
№3	0,5249

Выводы

1. Учет энергетических спектров значительно влияет на показания для различных топливных композиций.

2. Значительная погрешность, в частности – заметные расхождения со значениями метода четырех сомножителей, обусловлена небольшим количеством выбранных энергетических групп, а также универсальностью метода: групповые методы подходят для расчета как тепловых, так и быстрых реакторов. Это усложняет уточнение данных для конкретных типов реакторов. Метод четырех сомножителей изначально создавался для расчета тепловых реакторов. При увеличении количества энергетических групп показания будут все сильнее коррелировать с методом четырех сомножителей.

3. При малом разбиении энергетического спектра групповой метод неприменим для детальных расчетов ЯЭУ. Также необходимо учитывать расхождения в данных

разных ядерных библиотек и подбора наиболее подходящей для данного типа расчета и конкретного типа реактора [5].

Список литературы

1. *А. Н. Писарев, В. В. Колесов.* Сравнение влияния неопределенностей ядерных данных на точность предсказания изотопного состава для UO_2 - и MOX -топлива в расчетах выгорания на примере ячейки реактора PWR. // Вопросы атомной науки и техники. Сер. Физика ядерных реакторов. 2022. Вып. 5. С. 67—72.
2. *Г. Н. Мантуров, М. Н. Николаев, А. М. Цибуля.* Система групповых констант БНАБ-93. Часть 1: Ядерные константы для расчета нейтронных и фотонных полей излучений. // Вопросы атомной науки и техники: Сер. Ядерные константы. 1996. Вып. 1. С. 59.
3. *Helgesson P., Rochman D., Sjöstrand H., Alhas-san E., Koning A.* UO_2 versus MOX : Propagated Nuclear Data Uncertainty for keff, with Burnup. // Nuclear Science and Engineering. 2014. Vol. 177. № 3. PP. 321—336.
4. *Rochman D., Vasiliev A., Dokhane A., Ferrou-khi H.* Uncertainties for Swiss LWR spent nuclear fuels due to nuclear data. // EPJ Nucl. Sci. Technol. 2018. Vol. 4. № 6. PP. 7—8.
5. *Д. Белл, С. Глестон.* Теория ядерных реакторов. Атомиздат, 1974. С. 224—226.