**Нейтронно-физический расчёт ТВС реактора ВВЭР-1200 с добавлением в топливо диоксида тория**

***Фирсов Е.И. Внуков Р.А.*** *Студент 3 курса специалитета  
Обнинский институт атомной энергетики — филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», отделение Ядерной физики и технологий, Россия, г. Обнинск*

*E-mail: login55673255@yandex.ru*

Конечность разведанных мировых запасов урана, намекает на необходимость освоения технологий по получению энергии с привлечением в ядерный топливный цикл новых делящихся и воспроизводящих изотопов, включая торий, как источник U233.

Рассматривается возможность использовать особенность тория выступать в роли выгорающего воспроизводящего поглотителя, компенсируя излишнюю реактивность в начале кампании, уменьшая потребность в борном регулировании, снижая нагрузку на органы регулирования системы управления и защиты, а также воспроизводя на протяжении кампании ядра делящегося нуклида – U233. Внедрение тория, например, вместо гадолиния или при снижении концентрации последнего позволяет более эффективно использовать нейтронный ресурс реактора.

U233 имеет сходные нейтронно-физические характеристики с U235 и Pu239. Торий в топливе ядерного реактора следует рассматривать как источник U233, также как U238 является источником Pu239. Таким образом рассмотрение ториевого топлива актуально с точки зрения продления топливной кампании [1]. На рисунке 1 сравниваются разные подходы к внедрению тория.

В исследовании моделировались ТВС Z49, Z49A2, Z49B6, Z40D2 [2]. Проводилось размещение диоксида тория, гетерогенно, в отдельных стержнях ТВС, которые получили наименование твэты – тепловыделяющие элементы из тория. Твэты содержали исключительно диоксид тория и располагались в регулярной решетке. Во всех ТВС, где предусматривался Gd, он был полностью удалён из топливной композиции, а также в стержнях ТВС с урановым топливом обогащение топлива было увеличено из условия неизменности числа делящихся ядер (U235) после добавления твэтов. Предполагается постепенно увеличивать долю тория в ТВС (количество твэтов) в топливе и сравнивать нейтронно-физические характеристики промежуточных и крайних конфигураций ТВС, полученных таким образом [3].

Следует упомянуть, что модели данного исследования имели некоторые допущения: отсутствие моделирования частичных перегрузок, постоянная концентрация борной кислоты в теплоносителе на уровне 4 г/кг.

Отслеживались следующие параметры: эффективный коэффициент размножения, энерговыделение потвэльно, коэффициент воспроизводства, снят дифференцированный поток нейтронов. Сравнение изменённых ТВС с исходной представлено на рисунке 2.

Рис 1. Сравнение ТВС: Z49, Z49 с U233 в матрице ThO2 двух обогащений, Z49 с 72 ториевыми стержнями и 6.36% обогащением по UO2

Рис 2. Сравнение ТВС с 72 ториевыми стержнями обогащения 4.95% и 6.36% с исходной ТВС

Для дообогащённых версий ТВС величина падения реактивности по отношению к исходной модели изменилось по модулю на +3, +3, -5, -11% соответственно для Z40D2, Z49A2, Z49B6, Z49, т.е. удалось снизить темп потери реактивности у модели Z49B6, Z49. У измененных моделей Z40D2, Z49A2 темп потери реактивности оказался выше, чем у исходных.

В перспективе необходимо отследить совокупный эффект на модели активной зоны, состоящей из рассмотренных типов ТВС [2].

**Литература**

1. Алексеев С. В., Зайцев В. А. Торий в ядерной энергетике // Москва: Техносфера, 2014. - 288 с. - Текст: электронный // URL: https://www.studentlibrary.ru/book/ ISBN9785948363943.html (дата обращения: 03.11.2022).

2. Хашламун Т.М. Р. С. Оптимизация параметров удлиненных топливных загрузок для реакторов ВВЭР-1000(1200) с целью минимизации эксплуатационных затрат на АЭС: автореферат дис. кандидата технических наук: 05.14.03. - Москва, 2018. - 24 с.

3. Пономарев-Степной Н. Н., Лунин Г. Л., Морозов А. Г. [и др.] Легководный ториевый реактор ВВЭР-Т // Атомная энергия. – 1998. – Т. 85, вып. 4. – С. 263.