

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. BP Statistical Review of World Energy. – Pureprint Group Limited, UK, 2019
2. Waganer, L M, Driemeyer, D. E. and Lee, V. D. Inertial fusion energy reactor design studies: Prometheus-L&Prometheus-H. s.l.: McDonnell Douglas Company Report, 1992, MDC 92E0008/DOE/ER-54101.
3. Hendricks, J. S., McKinney, G. W. and Fensin, Michael L. MCNPX 2.6.0 Extensions, Los Alamos National Laboratory report, 2008, LA-UR-08-2216.
4. Yapıcı H, Übeyli M, Yalçın, S., Neutronic analysis of PROMETHEUS reactor fueled with various compounds of thorium and uranium// Annals of Nuclear Energy. – 2002. – vol. 29. – P. 1871–188.

**ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ЯДЕРНОГО
РЕАКТОРА СО СПЕКТРАЛЬНЫМ РЕГУЛИРОВАНИЕМ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ
ГЛУБИНЫ ВЫГОРАНИЯ ТОПЛИВА**

Ю. Б. Чертков, Т. Т. Элзаят

Национальный исследовательский Томский политехнический университет
E-mail: elzayattarek@yahoo.com

**INVESTIGATION OF OPERATING REGIMES OF A NUCLEAR
REACTOR WITH SPECTRAL SHIFT CONTROL TO INCREASE THE FUE
BURNUP.**

Y.B. Chertkov, T.T. Elzayat

National Research Tomsk Polytechnic University

***Annotation.** The SSCR reactor is a pressurized water reactor that controlled with spectral shift control, by using variable concentrations of heavy water / light water to control reactivity. In the presence of heavy water in the reactor coolant, the neutron population moves to higher energy levels and remains longer at resonant energies, so that excess neutrons are mainly absorbed in the fertile material, rather than in the control poison. This means that during an SSCR operation, more fissile material is produced and burned on-site than in a conventional PWR.*

В связи с сокращением запасов урана все большее значение придается эффективному использованию уранового топлива в ядерных реакторах. Проводимая во всем мире политика затягивания разработки реактора-размножителя на быстрых нейтронах еще больше подчеркивает необходимость улучшения топливных характеристик обычных легководных реакторов. Если рост ядерной промышленности ограничивается обычными легководными реакторами, то генерирующая мощность, обеспечиваемая ядерной энергетикой, может быть ограничена количеством, которое является менее желательным для удовлетворения прогнозируемого спроса на нагрузку.

Однако несколько реакторных систем, включая реактор на тяжелой воде, реактор-размножитель легкой воды (LWBR) и реактор со спектральным регулированием (SSCR), являются жизнеспособными альтернативами, которые могут внести значительный вклад в сохранение ресурсов урана и тем самым увеличить потенциальную ядерную генерирующую мощность. Как реактор на тяжелой воде, так и реактор-размножитель на легкой воде потребовали бы существенной разработки и/или модификации обычного реактора на воде под давлением (PWR), что снизило бы вероятность его развития в ближайшей перспективе. Кроме того, LWBR требует больших первоначальных запасов, и поэтому его вклад в сохранение ресурсов будет только в долгосрочной перспективе [1].

Напротив, SSCR в полной мере использует технологию и компоненты PWR и, следовательно, обладает наибольшим потенциалом для успешного применения. Реактор, контролирующийся со спектральным регулированием, использует переменные

концентрации тяжелой воды / легкой воды для осуществления контроля реактивности. При наличии тяжелой воды в теплоносителе реактора заселенность нейтронов перемещается на более высокие энергетические уровни и дольше остается при резонансных энергиях, так что избыточные нейтроны преимущественно поглощаются в фертильном материале, а не в контрольном яде. Таким образом, во время операции SSCR производится и сжигается больше делящегося материала на месте, чем в обычном PWR.

Метод контроля ядерного реактора со спектральным регулированием – это метод, связанный с концепцией управления долговременными эффектами реактивности в активной зоне ядерного реактора путем изменения спектра энергии нейтронов в течение периода топливного цикла. Эта концепция реализуется многими методами, первый метод (химический метод), который будет исследован в этом исследовании, был предложен в 1960-х годах в США (Компания Babcock & Wilcox и инженерная корпорация Stone & Webster ; D. Mars и др., 1961; MC Edlund, 1964), который включал изменение концентрации D_2O в смеси $D_2O - H_2O$, которая служит как замедлителем, так и теплоносителем, следующая; При запуске реактора с новой загрузкой топлива активной зоны смесь замедлителя имеет высокую концентрацию D_2O (до 80 мол.% Смеси).

Следовательно, замедлитель имеет относительно низкую замедляющую мощность, поскольку D_2O является менее эффективным замедлителем, чем H_2O (из-за замедления мощность $\zeta_{\sum_s D_2O}$ составляет всего 16% от мощности H_2O). что в свою очередь вызывает увеличение потоков эпитептермальных и быстрых нейтронов. Таким образом, существует высокая скорость поглощения нейтронов в фертильном материале по сравнению с поглощениями в топливе, но с увеличением утечки нейтронов.

Поскольку активная зона реактора продолжает работать и реактивность уменьшается из-за выгорания топлива и накопления продуктов деления, отношение D_2O к H_2O в замедлителе уменьшается за счет разбавления первичной системы с H_2O . Спектр нейтронов становится более тепловым, поскольку замедления мощность увеличивает, и вероятность резонансного выхода нейтронного потока увеличивается, что, в свою очередь, увеличивает (Кэфф). Этот эффект более чем компенсирует повышенное поглощение нейтронов в водороде, добавляемом в замедлитель, и в конструкционном материале [2].

Таким образом, реактивность активной зоны регулируется для поддержания реактора на полной мощности. Процесс разбавления замедлителя H_2O продолжается в течение всего срока службы активной зоны, пока конечная концентрация D_2O не станет настолько низкой, насколько это целесообразно с экономической точки зрения (около 2 мол.%).

Поэтому во время работы реактора на полной мощности реактивность активной зоны контролируется поглощением нейтронов фертильном материале, а не в поглотителях, таких как контрольные стержни или выгорающие дисперсные яды (гадолиний) или химическая прокладка (борная кислота). Поглощение нейтронов в фертильном материале приводит к образованию нового расщепляющегося материала; плутоний в случае урана в качестве плодородного материала; U-233 в случае тория в качестве плодородного материала. Таким образом, коэффициент конверсии выше для реактора управления со спектральным регулированием, чем для отравленного реактора, и наблюдается соответствующее улучшение экономии топлива.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Matzie R. A. and Sider F. M. Evaluation of Spectral Shift Controlled Reactors Operating on the Uranium Fuel Cycle// Proceeding of the EPRI NP-1156.–1979. –Р. 1–5.
2. Васильченко И.Н., Махин В.М., Кушманов С.А., П.Н. Алексеев, В.Ф. Горохов, А.С. Духовенский и др. Расчетно конструкторские проработки активных зон ВВЭР со спектральным регулированием. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.gidropress.podolsk.ru/files/proceedings/mntk2011/documents/mntk2011-107.pdf> (дата обращения 01.09.2020)