

5. Garrison J. The Darkness of God: Theology after Hiroshima // SCM Press. - 1982. - №3. - P. 11-15.
6. Атомный эксперт [электронный ресурс] : Искусственный интеллект в ядерной энергетике : электрон. журн. Март 2018. № 1. URL: <https://atomicexpert.com/page3177509.html> (дата обращения 21.02.2021)

Баршонь Саболч (Венгрия)

Томский политехнический университет, г. Томск

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

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТОПЛИВА ДЛЯ РЕАКТОРОВ ВВЭР-1200 ПОМОЩЬЮ ПАКЕТА ПРОГРАММ MSU

Введение

Водо-водяной энергетический реактор (ВВЭР) относится к самому распространенному типу реакторов с водой под давлением. В Венгрии этот тип реактора также находится в эксплуатации. В конце 2014 года Россия и Венгрия подписали документы о строительстве в АЭС "Пакш" новых энергоблоков ВВЭР-1200 [1].

В связи с вышесказанным, основное внимание в этой работе уделяется моделированию параметров активной зоны реактора ВВЭР-1200 помощью пакета программ MSU [2].

В данной работе автором разработаны оптимальные обогащенные выгорающие поглотители ^{155}Gd и ^{157}Gd для активной зоны реакторов ВВЭР «mini core» и «midi core». Эти конфигурации содержат различные фракции поглощающих нейтроны изотопов ^{155}Gd и ^{157}Gd , а также конструкции из ^{155}Gd , обогащенные на 100%. С помощью пакета MSU были рассчитаны нейтронно-физические характеристики конфигураций топливных стержней, обогащенных $\text{UO}_2/\text{Gd}_2\text{O}_3$.

Теория выгорания

При запуске реактора - первом цикле облучения активной зоны - имеется большое количество избыточной реактивности из-за большого количества топлива. И скорость деления, и нейтронный поток могут резко увеличиваться. Таким образом, необходима система управления для предотвращения большого выброса реактивности в первый период.

Выгорающие поглотители

В настоящее время выгорающие поглотители используются в виде соединений В, Ер, Еи и Gd.

Если сравнивать, например, эрбиевые и гадолиниевые присадки по такому отдельному параметру как паразитная реактивность, то у Gd меньше отрицательных факторов от невыгоревших или медленно выгорающих изотопов, наличие которых требует дополнительного обогащения топлива изотопом ^{235}U [3, 4].

У эрбия сечение поглощения тепловых нейтронов на два порядка ниже, чем у гадолиния, до энергий 0.1 эВ.

Преимущество использования изотопа гадолиния ^{155}Gd и ^{157}Gd в качестве выгорающих поглотителей

Усовершенствованное ядерное топливо PWR, способное при сжигании выделять более 70 GWd/Ton, обязательно должно иметь, среди прочего, обогащение урана выше 5%, что приводит к необходимости использования чрезвычайно эффективных выгорающих поглотителей. Оксид гадолиния (Gd_2O_3) в настоящее время используется в качестве выгорающего поглотителя для топлива PWR. Процессы производства, свойства и поведение гадолиния, смешанного с UO_2 -топливом, хорошо известны и хорошо изучены. В природе существуют семь изотопов гадолиния. Из них только два изотопа, ^{155}Gd и ^{157}Gd , имеют чрезвычайно высокие сечения поглощения тепловых нейтронов [5].

Побочный эффект выгорающих поглотителей, содержащих гадолиний – снижение теплопроводности топлива $\text{UO}_2\text{-Gd}_2\text{O}_3$, и, таким образом, это приводит к более высоким профилям температуры в топливе.

Чтобы избежать таких точек с повышенной температурой, в имеющихся в настоящее время стержнях PWR используется более низкое обогащение ^{235}U во всех топливных таблетках, содержащих гадолиний. Использование гадолиния, обогащенного наиболее важными изотопами ^{155}Gd и ^{157}Gd для поглощения нейтронов, может позволить снизить содержание природных изотопов гадолиния (Gd_2O_3) в таблетках и, таким образом, улучшить теплопроводность топливных стержней. Это позволяет использовать одинаковое обогащение ^{235}U в обоих типах топливных таблеток: в таблетках с $\text{UO}_2\text{-Gd}_2\text{O}_3$ и с UO_2 [6].

Разработка ТВЭЛа «mini core» и ТВС «midi core»

Все технические решения конструкции ТВС-2М были перенесены в проект АЭС2006. Средняя часть модели ТВС содержит 312 тепловыделяющих элементов, 18 направляющих каналов и один инструментальный канал.

В качестве нейтронной модели выступает элементарная ячейка реактора, состоящая из топливной части твэла, гелиевого центрального отверстия и зазора, оболочки, водного замедлителя. При проведении

расчета данная модель разбивается на 34 аксиальных слоев (32 слоев в топливной части и 2 слоя торцевого замедлителя).

В следующих рассматривался применение гадолиния в качестве ВП в форме Gd_2O_3 для реактора ВВЭР- 1200. Созданы геометрические модели и проведено размещение 40 – 40 вариантов топлива для «mini core» и «midi core». Были продемонстрированы по программному комплексу MCU высотное распределение энерговыделение в разных ТВСах.

Заключение

Представлена теория выгорающих поглотителей (ВА), а также упоминаются используемые в настоящее время выгорающие поглотители и некоторые различные конфигурации выгорающих поглотителей для длительной эксплуатации реактора PWR. Разработаны модели ТВЭЛа и ТВСа для реактора ВВЭР-1200. Вычислены концентрации и созданы геометрические модели размещения 40 – 40 вариантов топлива для «mini core» и «midi core». Разделено ТВС на несколько аксиальных слоев и проведение расчета их энерговыделения в холодном состоянии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ase-ec.ru. 2021. [online] Available at: <<https://ase-ec.ru/en/projects/paks-2-npp/>> [Accessed 13 March 2021].
2. Mcuproject.ru. 2021. MCU Code: MCU Project Home Page. [online] Available at: <<http://mcuproject.ru/rabout.html>> [Accessed 13 March 2021].
3. Конотоп, Ю., Одейчук, Н. and Красноруцкий, В., 1998. Современное состояние проблемы поглощающих нейтроны материалов и изделий на их основе для реакторов типа ВВЭР-1000. Харьков: ЙНЦ ХФТИ, р.-68.
4. M. L. Grossbeck, J.-P. A. Renier and Tim Bigelow, 2003. Development of improved burnable poisons for commercial nuclear power reactors. Final Report on NERI Project Number 99-0074,.
5. Pubchem.ncbi.nlm.nih.gov. 2021. Gadolinium | Gd (Element) - PubChem. [online] Available at: <<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/element/Gadolinium#section=Isotopes>> [Accessed 13 March 2021].
6. Yilmaz, S., Ivanov, K., Levine, S. and Mahgerefteh, M., 2006. Development of enriched Gd-155 and Gd-157 burnable poison designs for a PWR core. Annals of Nuclear Energy, 33(5), pp.439-445.