

УДК 621.039.548

**ЗАМКНУТЫЙ ЯДЕРНЫЙ ТОПЛИВНЫЙ ЦИКЛ  
CLOSED NUCLEAR FUEL CYCLE**

М.В. Рынкевич, А.В. Казейка

Научный руководитель – Т.А. Петровская, старший преподаватель

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

M. Rynkevich, A. Kazeika

Supervisor – T. Petrovskaya, Senior Lecturer

Belarusian national technical university, Minsk

**Аннотация:** в данной статье будет рассмотрен замкнутый ядерный топливный цикл, реактор на быстрых нейтронах и МОКС-топливо. Данные термины в совокупности выводят ядерную энергетику на новый этап.

**Abstract:** this article will consider a closed nuclear fuel cycle, a fast neutron reactor and MOX fuel. These terms together bring nuclear power to a new stage.

**Ключевые слова:** замкнутый ядерный топливный цикл, быстрые нейтроны, МОКС-топливо, плутоний, уран, отработанное ядерное топливо.

**Keywords:** closed nuclear fuel cycle, fast neutrons, MOX fuel, plutonium, uranium, spent nuclear fuel.

**Введение**

Цепная ядерная реакция создается, когда сталкивается нейтрон с атомным ядром обогащенного урана. Так происходит ядерная реакция с выделением тепла, новых нейтронов и продуктов деления. Тепловые (медленные) нейтроны – это нейтроны кинетическая энергия которых равна средней кинетической энергии молекулы газа при комнатной температуре. Нейтроны, которые образуются при ядерной реакции после нескольких столкновений с ядрами вещества теряют свою кинетическую энергию и становятся тепловыми. Если поместить между ядрами атомов воду, то они более эффективно будут захватывать нейтроны. Быстрые нейтроны, сталкиваясь с нуклонами воды замедляются, а медленный нейтрон не спеша подлетает к ядру и захватывается с помощью сильного взаимодействия. Чем медленнее нейтрон двигается, тем с большей легкостью возникает ядерная реакция. По такому принципу работают водо-водяные энергетические реакторы (ВВЭР).

Такие обычный реактор на тепловых нейтронах имеет ряд минусов:

- В качестве топлива используется дорогостоящий и редкий U-235. В природном уране содержится около 0,7% радиоактивного изотопа урана с атомарным весом 235 (U-235), на остальные 99,3% приходится изотоп урана 238 (U-238).
- Использование открытого топливного цикла. В открытом топливном цикле отработанное топливо поступает на хранение или захоронение.
- Большая стоимость хранилищ и полигонов для захоронения. Завершается открытый цикл тем, что ядерное топливо перестает поддерживать цепную реакцию деления, поскольку в нём остается слишком мало обогащенного U-235 и накапливается большое количество

продуктов деления. Отработанное топливо отправляют на хранение, где оно со временем теряет свою радиоактивность, чтобы в последствии его можно было окончательно захоронить. Этот процесс приводит к постоянному увеличению отработанного топлива и это вызывает серьезный экологический вопрос.

Эти проблемы решает реактор на быстрых нейтронах, работающий по замкнутому циклу, и МОКС-топливо [1].

### **Основная часть**

Замкнутый топливный цикл – это усовершенствованный топливный цикл. Его целью является снижение радиотоксичности конечных отходов и улучшения использования. В настоящее время исследуются различные типы усовершенствованных топливных циклов, но большинство из них основано на использовании усовершенствованных ядерных реакторах и переработке топлива [2].

Реактор на быстрых нейтронах – ядерный реактор, в котором цепная реакция деления поддерживается быстрыми нейтронами. Это означает, что замедлитель нейтронов в таких реакторах нежелателен. В этом ключевое преимущество быстрых реакторов, поскольку быстрые реакторы имеют значительный избыток нейтронов из-за низкого паразитного поглощения, в отличие от ВВЭР.

МОКС-топливо – смешанное оксидное топливо. В ВВЭР кроме реакции деления U-235, происходит превращение U-238 в изотоп плутония (Pu-239) в результате захвата избыточных нейтронов. Pu-239, так же, как и U-235 является делящимся материалом и может служить топливом для ядерного реактора. Выброшенное топливо содержит около 0,8% плутония и около 1% урана 235.

Таким образом, для использования своего энергетического потенциала отработанное ядерное топливо должно быть подвергнуто серии химических процессов, известных как переработка. Следовательно, стратегия замкнутого цикла предполагает, что отработанное ядерное топливо будет перерабатываться для извлечения урана и плутония, которые могут быть переработаны в качестве свежего ядерного топлива для использования в ядерном реакторе, адаптированном к этому типу топлива.

Тепловыделяющие сборки после облучения хранятся в бассейнах отработавшего топлива на площадке реактора в течение начального периода охлаждения. Со временем, когда отработанное топливо хранится в бассейне, оно становится холоднее по мере того, как радиоактивность спадает. По прошествии нескольких лет (более 5 лет) теплота распада снижается до установленных пределов, так что отработавшее топливо можно транспортировать на установку по переработке, где уран и плутоний отделяются от минорных актиноидов и продуктов деления. Извлеченные уран и плутоний могут быть переработаны в МОКС-топливо для использования в качестве ядерного топлива [3].

В результате осуществления такого замкнутого цикла конечный объем высокоактивных отходов сокращается примерно на 80%, их радиотоксичность снижается примерно на 90%, а теплота их распада снижается по сравнению с

однократным циклом. Это связано с тем, что отработанное топливо содержит более 96% U и Pu.

### **Заключение**

Использование замкнутого цикла имеет ряд преимуществ, связанных с сокращением радио токсичности и уменьшения высокоактивных отходов. Переработка отработанного ядерного топлива позволяет получить МОКС-топливо, которое будет использоваться в качестве ядерного топлива.

### **Литература**

1. Closed Fuel Cycle [Электронный ресурс] / Closed Fuel Cycle – Режим доступа: <https://www.nuclear-power.com/nuclear-power-plant/nuclear-fuel/nuclear-fuel-cycle/closed-fuel-cycle/> – Дата доступа: 05.07.2023.
2. Ядерный рециклинг [Электронный ресурс] / Ядерный рециклинг: переработка отработавшего топлива – Режим доступа: <https://spec.tass.ru/recycling/#:~:text=Замкнутый%20ядерный%20топливный%20цикл%2C%20ЗЯТЦ,загружается%20в%20реактор%20атомной%20станции> – Дата доступа: 05.07.2023.
3. Closed Fuel Cycle [Электронный ресурс] / Closed Fuel Cycle | New Nuclear Energy – Режим доступа: <https://newnuclearenergy.wordpress.com/nuclear-cycle-2/closed-fuel-cycle/> – Дата доступа: 05.07.2023.