

раствор добавляется сорбент, в результате реакции образуется осадок, который разными путями удаляется и отправляется на хранение.

Любой радиоактивный мусор подлежит переработке и утилизации. Переработка требуется, чтобы изменить состояние и объем РАО и сделать их более удобными и безопасными для дальнейшего захоронения. После переработки ОЯТ утилизируют. Утилизация предполагает следующие виды:

- захоронение в антарктических льдах;
- захоронение в геологических структурах;
- долговременное хранение;
- переработка;
- отделение урана и плутония в отработанном топливе;
- захоронение в океаническом ложе;
- удаление в космос;
- трансмутация.

Итак, наиболее реальным перспективным способом утилизации радиоактивных отходов является их захоронение в геологической среде. Сложная экономическая ситуация в нашей стране не позволяет использовать альтернативные дорогостоящие способы захоронения в промышленных масштабах.

Поэтому важнейшей задачей геологических исследований будет исследование оптимальных геологических условий для безопасного захоронения РАО, возможно на территории конкретных предприятий атомной промышленности. Наиболее быстрым путем решения задачи является использование скважинных могильников, сооружение которых не требует больших капитальных затрат и позволяет начать захоронение РАО в сравнительно небольших по размерам геологических блоках благоприятных пород.

## **ЯДЕРНЫЙ ТОПЛИВНЫЙ ЦИКЛ: ТЕХНОЛОГИИ, БЕЗОПАСНОСТЬ**

Лебедев В. М.

*Озерский технологический институт – филиал НИЯУ МИФИ (СПО),  
г. Озёрск Челябинская область*

Статья посвящена особенностям ядерных топливных циклов. Рассмотрены основные виды ядерных топливных циклов, определены их преимущества и недостатки.

*Ключевые слова:* ЯТЦ, Твэлы, уран-235, уран-238.

## **NUCLEAR FUEL CYCLE: TECHNOLOGY, SAFETY**

Lebedev V. M.

*OTI NRNU MEPHI Ozersk*

The article is devoted to the peculiarities of nuclear fuel cycles. The main types of nuclear fuel cycles are considered, their advantages and disadvantages are determined.

*Keywords:* NFC, Fuel rods, uranium-235, uranium-238.

Ядерный топливный цикл – важная часть современной науки и производства, без которой бы наше человечество не смогло бы так далеко продвинуться. Немногие вопросы,

представляющие научный интерес, привлекают такое постоянное внимание общественности и вызывают столько противоречий, как проблема воздействия радиации на человека и окружающую среду. В наше время ядерное топливо является очень весомой частью производства и ядерной энергетики. Данная тема является актуальной.

Цель: опираясь на собранный материал, выяснить, какие неорганические вещества используются на предприятиях ЯТЦ и для чего.

Задачи:

1. Выяснить что такое ЯТЦ;
2. Рассмотреть виды ЯТЦ;
3. Выдвинуть предложение.

Ядерный топливный цикл – это вся последовательность повторяющихся производственных процессов, начиная от добычи топлива и заканчивая удалением радиоактивных отходов. В зависимости от вида ядерного топлива и конкретных условий, ядерные топливные циклы могут различаться в деталях, но их общая схема сохраняется.

Ядерная энергетика занимает особое место среди других источников энергии, давно вошедших в жизнь людей и ставших традиционными.

Ядерная энергия, используется в атомных энергетических установках стационарного и нестационарного типов, играет весьма ощутимую роль в производстве, в получении электрической энергии. Перед другими видами энергии, особенно химической, ядерная энергия обладает огромным преимуществом в связи с очень высокой концентрацией на единицу массы топлива. Благодаря высокой удельной концентрации ядерное топливо (уран) оказывается наиболее дешёвым видом топлива для электростанций, несмотря на сложность его добычи и очень малое содержание урана в руде. Так, экономически эффективными для добычи урана считаются месторождения с содержанием урана в руде всего лишь 0,1%, а иногда и меньше.

В наше время электроэнергия стала жизненно важным фактором в деятельности человека. Это в первую очередь относится к развитым странам и несколько меньше, к развивающимся.

Значение электрической энергии для человечества необыкновенно велико. Без электрической энергии нельзя представить себе завод, фабрику, производство, а также многоквартирный жилой дом без света, воды, лифта. Электроэнергия на предприятиях, в городах и сёлах – повседневный быт. Без электроэнергии невозможно представить жизнь современного человека.

Ядерным топливом для реакторов является уран. Поэтому все стадии и процессы ядерного топливного цикла определяются физико-химическими свойствами этого элемента.

Для атомной энергетики различают два вида ЯТЦ – открытый (разомкнутый) и закрытый (замкнутый).

В разомкнутом (открытом) ЯТЦ отработанное ядерное топливо считается высокоактивными радиоактивными отходами и вместе с остаточными делящимися изотопами исключается из дальнейшего использования – поступает на хранение или захоронение. Поэтому разомкнутый ЯТЦ характеризуется низкой эффективностью использования природного урана (до 1 %). Широкое применение открытого типа ЯТЦ обусловлено достаточно невысокими ценами на уран.

В замкнутом ЯТЦ на радиохимических предприятиях осуществляется переработка отработанного ядерного топлива (ОЯТ) с целью возврата в цикл невыгоревшего урана-235, почти всей массы урана-238, а также изотопов энергетического плутония, образовавшихся при работе ядерного реактора. Из ядерного топлива выделяют ценные компоненты, которые используют для изготовления нового ядерного горючего. При этом активность отходов, подлежащих окончательному захоронению, минимизируется.

Замкнутый ЯТЦ второго типа предполагает утилизацию энергетического и оружейного плутония посредством развития производства смешанного уранплутониевого топлива

(МОКС-топлива) из диоксидов урана и плутония ( $UO_2$ ,  $PuO_2$ ) для реакторов на быстрых и тепловых нейтронах. Повышение эффективности использования ядерного топлива и возможность вовлечения в ЯТЦ плутония как ценного энергоносителя являются основными аргументами в пользу замкнутого цикла. В замкнутом топливном цикле ядерное топливо урановых реакторов рассматривается как важнейший элемент сырьевой базы отрасли. Обосновывается это тем, что ОЯТ содержит значительное количество делящихся изотопов, возвращение которых в ЯТЦ после переработки расширит сырьевую базу ядерной энергетики. После удаления топлива из реактора, топливные стержни проходят обработку на перерабатывающих заводах, где они дробятся и растворяются в кислоте. После специальной химической обработки из отработанного топлива выделяют два ценных продукта: плутоний и неиспользованный уран. Примерно 3 % топлива при этом остается в качестве высокоактивных отходов. После битумирования (или остекловывания) эти высокорadioактивные материалы подлежат длительному захоронению. 96 % урана, который используется в реакторе, остается в исчерпанном топливе (в реакторе расходуется не более 1 %  $U-235$ ). Оставшаяся часть топлива преобразуется в теплоту и радиоактивные продукты распада, а некоторая часть в плутоний и другие актиноиды.

Ториевый топливный цикл – это ядерный топливный цикл, в котором в качестве плодородного материала используется изотоп тория-232. Благоприятные условия для эманирования торона в воздух рабочих помещений, которые возникают при осуществлении конечных операций технологического процесса производства порошка двуокиси урана, могут привести к дополнительному облучению персонала в результате образования аэрозолей  $^{212}Pb$ . На дальнейших этапах производства топлива – при изготовлении таблеток, твэлов, тепловыделяющих сборок – присутствие  $^{232}U$  в регенерированном уране может сказаться в основном лишь на увеличении доз внешнего облучения. Диаметр твэла 11,7 мм, длина 3,35 м, толщина оболочки из циркалоя 0,51 мм.

О степени опасности  $^{232}U$  на конечных этапах производства топлива свидетельствуют значения эквивалентного содержания  $^{232}U$ .

Топливный цикл с использованием регенерированного урана

Регенерированный уран, полученный в результате радиохимической переработки отработавшего топлива атомная электростанция, заменяет в топливном цикле часть урана, полученного из природного сырья. Накопившийся в отработанном топливе  $^{232}U$  будет поступать вместе со всеми изотопами урана на те стадии топливного цикла, в которые вовлекается регенерированный уран. Стадии: радиохимическое производство; производство гексафторида урана; производство топлива, твэлов и тепловыделяющих сборок; атомная электростанция.

Радиохимическое производство

Активность свежеработавшего топлива настолько высока, что оно не может сразу после облучения поступать на переработку, а должно выдерживаться в течение некоторого времени в специальных хранилищах. Многие короткоживущие радиоактивные изотопы Zn, Ga, As, Br, Rb, Gd практически полностью распадаются к концу первого месяца выдержки. В последующие месяцы значительно уменьшается активность, обусловленная  $^{131}I$ ,  $^{115}Cd$ ,  $^{140}Ba$ ,  $^{140}La$ ,  $^{143}Pr$ ,  $^{147}Nd$ . Медленно, в течение нескольких лет уменьшается активность  $^{144}Ce$ ,  $^{144}Pm$ ,  $^{106}Ru$ ,  $^{106}Rh$  и на десятилетия сохраняется высокий уровень активности таких долгоживущих продуктов деления, как  $^{90}Sr$ ,  $^{137}Cs$ ,  $^{85}Kr$ ,  $^{147}Pm$ .

Степень активности отработавшего топлива зависит от природы облученного материала, энергетического спектра нейтронов в реакторе, удельной энергонапряженности топлива, энерговыработки, длительности облучения и последующей выдержки.

Топливный цикл с использованием регенерированного урана

Регенерированный уран, полученный в результате радиохимической переработки отработавшего топлива атомная электростанция, заменяет в топливном цикле часть урана, полученного из природного сырья. Накопившийся в отработанном топливе  $^{232}U$

будет поступать вместе со всеми изотопами урана на те стадии топливного цикла, в которые вовлекается регенерированный уран. Стадии: радиохимическое производство; производство гексафторида урана; производство топлива, ТВЭЛов и тепловыделяющих сборок; атомная электростанция.

Мое предложение заключается в том, что можно наладить добычу тория из недр почвы и вместо урана использовать в открытом ядерном топливном цикле торий.

**УДК 66.03**  
**ГРНТИ 31.15.23**

### **ИЗВЛЕЧЕНИЕ И ОЧИСТКА УРАНА ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ ОЯТ**

Фатыхова Д. Р., Назаров М. В.

*Озёрский технологический институт – филиал НИЯУ МИФИ (СПО),  
г. Озёрск Челябинская область*

katyka6893@gmail.com

Статья посвящена ядерному горючему водо-водяных реакторов, технологии переработки отработавшего ядерного топлива на заводе РТ-1, способу извлечения и очистки урана из него.

*Ключевые слова:* уран, топливо, ОЯТ, ЯТЦ, переработка, отходы.

### **EXTRACTION AND PURIFICATION OF URANIUM DURING SNF PROCESSING**

Fatykhova D. R. Nazarov M. V.

*OTI NRNU MEPHI, Ozersk*

The article is devoted to the nuclear fuel of pressurized water reactors, the technology for processing spent nuclear fuel at the RT-1 plant, the method for extracting and purifying uranium from it.

*Keywords:* Uranium, SNF, NFC, recycling, waste.

Важным преимуществом использования ядерного горючего является значительное сокращение выбросов вредных продуктов сгорания в окружающую среду. А использование ядерной энергетики для нужд электрификации является основным направлением её мирного применения.

Если выразаться кратко, то уран, который отработал в ядерном реакторе, называется облучённым или выгоревшим. А такие ТВС (тепловыделяющая сборка) — отработавшим ядерным топливом. ОЯТ позиционируется отдельно от радиоактивных отходов, поскольку имеет как минимум 2 полезных компонента — это невыгоревший уран (глубина выгорания металла никогда не достигает 100%) и трансурановые радионуклиды. Процесс переработки урана входит в процесс ядерного топливного цикла.

Переработка отработанного ядерного горючего, и обработка радиоактивных отходов — самая важная из перечисленных проблем топливного цикла крупномасштабной ядерной энергетики. Итак, на сегодняшний момент существует две концепции по поводу обращения с ОЯТ. Одна концепция, которой официально придерживаются в США — это концепция разомкнутого цикла, когда облучённое топливо в виде оборок ТВЭЛов (ТВЭЛ —