

повысить эффективность сжигания топлива, сократить затраты и продолжительность плановых ремонтных работ, снизить уровень вредных выбросов в атмосферу.

Список литературы

1. Воскобойников В.Г., Кудрин В.А., Якушева А.М. Общая металлургия: учебник для вузов. 6-изд., перераб и доп.-М.: ИКЦ «Академкнига», 2002. – 768 с.:253 ил.
  2. Зубов В.Л., Гасик М.И. Электрометаллургия ферросилиция. Днепропетровск: Системные технологии, 2002. – 704 с.
  3. Мизин В.Г., Серов Г.В. Углеродистые восстановители для ферросплавов. М.: Металлургия, 1976. 272 с.
  4. Теслев С. А., Теслева Е. П. Использование железорудных неокислованных окатышей при производстве ферросилиция // Инновационные технологии и экономика в машиностроении: сборник трудов VI Международной научно-практической конференции, Юрга, 21-23 Мая 2015. - Томск: ТПУ, 2015 - С. 155-158.
  5. Теслев С. А., Теслева Е. П., Халтурина Д. В. Использование ископаемых углей при производстве ферросилиция // Инновационные технологии в машиностроении: сборник трудов IX Международной научно-практической конференции, Юрга, 24-26 Мая 2018. - Томск: Изд-во ТПУ, 2018 - С. 94-96.
  6. Померанцев В.В., Ахмедов Д.В., Шестаков С.М. и др. Опыт промышленного котла БКЗ-420-140-9 с низкотемпературной вихревой топкой. // Энергомашиностроение, 1985, № 8, с.32–34.
  7. Пузырев Е.М., Афанасьев К.С. Опыт разработки вихревых топков на дробленом угле для котлов малой и средней мощности. // Энергетик, 2009, №4, с. 11–12.
- Щуренко В.П., Пузырев Е.М., Сеначин П.К. Моделирование и разработка низкотемпературных вихревых топочных устройств. // Ползуновский вестник, 2004, №1. с. 152–156.

**ПЛАЗМЕННАЯ ПЕРЕРАБОТКА ОТХОДОВ ЗАМКНУТОГО  
ЯДЕРНОГО ТОПЛИВНОГО ЦИКЛА**

*А.Е. Тихонов, студ., И.Ю. Новоселов, асс.*

*Томский политехнический университет*

*634050, г. Томск пр. Ленина 30, тел. (3822)-70-17-77*

*E-mail: aet13@tpu.ru*

**Аннотация:** В работе предложен плазменный метод переработки отходов замкнутого ядерного топливного цикла в виде водно-солеорганической композиции. Данный метод имеет ряд преимуществ и позволяет безопасно перерабатывать такие материалы. В работе определен оптимальный состав композиции для утилизации в плазме. Равновесные составы продуктов переработки показывают, что в процессе плазменной переработки идет образование  $N_2$ ,  $CO_2$ ,  $H_2O$ , а также  $FeCl_3$  и  $Fe_2O_3$  в конденсированной фазе. Отсутствие сажи является индикатором того, что процесс переработки экологически безопасен.

**Abstract:** The work proposed the plasma method of processing closed nuclear fuel cycle wastes in the form of a water-salt-organic composition. This method has several advantages and allows recycling such material safely. The optimal composition for recycling in plasma was determined. Equilibrium compositions showed that in the process of plasma processing  $N_2$ ,  $CO_2$ ,  $H_2O$  and also  $FeCl_3$  and  $Fe_2O_3$  in the condensed phase were formed. Lack of soot is an indicator that the recycling process is environmentally safe.

**Ключевые слова:** отходы, плазма, замкнутый ядерно-топливный цикл.

**Keyword:** waste, plasma, closed nuclear fuel cycle.

Для развития ядерной энергетики, а именно для создания замкнутого ядерного топливного цикла (ЗЯТЦ), большую роль играет реализация конечной ступени – переработка отработавшего ядерного топлива (ОЯТ), его негорючих (ОП ОЯТ) и горючих отходов переработки (ГОП ОЯТ). Проблема обращения с ОЯТ не нова, в поисках решения этой проблемы было выполнено колоссальное количество работ, создано множество различных технологий [1].

Основой современной технологии переработки ОЯТ на радиохимических заводах (в том числе российских) является PUREX-процесс (Plutonium-Uranium Recovery by EXtraction), которому предшествуют рубка (фрагментация) отработавших тепловыделяющих сборок (ОТВС), а также растворение ОЯТ в азотной кислоте (рис. 1).

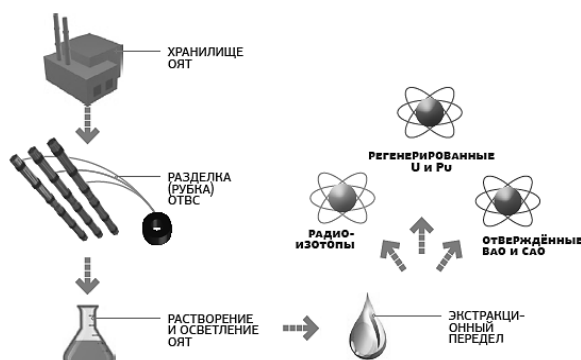


Рис. 1. Этапы переработки отработавших тепловыделяющих сборок

Чаще всего материалом-экстрагентом в указанном процессе, с помощью которого можно извлечь уран и плутоний, очищенные от продуктов деления, выступает трибутилфосфат (ТБФ), который разбавляется керосином, четыреххлористым углеродом или гексахлорбутадиеном (ГХБД) и др.

Отходы переработки ОЯТ (ОП ОЯТ) после того, как из них был извлечен уран и плутоний, представляют из себя водно-солевые растворы металлов с определенным модельным составом, который приведен в [3].

Достаточно высокая концентрация в растворе продуктов деления, а также плутониевых нуклидов значительно снижает эффективность экстрагента из-за радиационного воздействия, таким образом, экстрагент превращается в ГОП ОЯТ. В процессе экстракции образуется также отход в виде воды, загрязненной радиоактивными изотопами, которую сливают в карьеры при радиотехнических заводах и бессточные озера, отгороженные дамбами.

Значительное понижение энергозатрат на процесс возможно при плазменной переработке отходов ЗЯТЦ в форме горючих водно-солеорганических композиций (ВСОК).

Опыты показали, что полное сгорание жидких горючих отходов наблюдается в случае, когда они имеют температуру горения около 1200 °С [4]. На рисунке 2 показано влияние содержания ОП ОЯТ и ТБФ (в ГОП ОЯТ) на адиабатическую температуру горения различных по составу ВСОК на их основе.

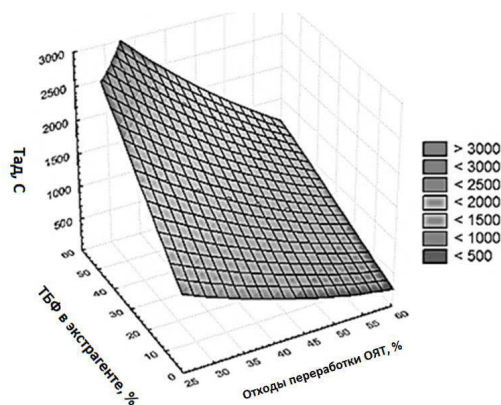


Рис. 2. График влияния содержания ТБФ в экстрагенте и ОП ОЯТ на адиабатическую температуру горения различных по составу ВСОК

Анализируя зависимость, очевидно, что для создания горючей ВСОК с адиабатической температурой горения  $\approx 1200$  °С, а также максимальным содержанием ОП ОЯТ, требуется следующий состав ВСОК: 34 % ОП ОЯТ : 20 % ТБФ : 46 % ГХБД.

На рисунке 3 представлены составы основных газообразных (а) и конденсированных (б) продуктов, образующихся при плазменной переработке ОП ОЯТ и ГОП ОЯТ в виде оптимальной по составу ВСОК (доля плазменного теплоносителя – 70 % масс.).

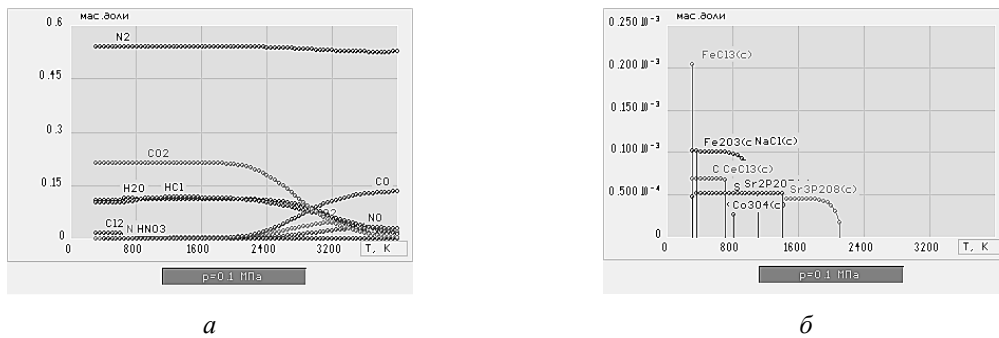


Рис. 3. Состав газообразных (а) и конденсированных (б) продуктов плазменной утилизации горючих отходов переработки ОЯТ в воздушной плазме (70 % воздух : 30 % ВСОК)

Анализ составов (рис. 3) показывает, что в основном в газовой фазе образуются  $N_2$ ,  $H_2O$ ,  $CO_2$ , в конденсированной фазе – простые оксиды и хлориды. Отсутствие среди продуктов сажи, а также токсичных газов является индикатором того, что плазменная переработка ОП ОЯТ и ГОП ОЯТ идет в экологически безопасном, а значит и оптимальном режиме.

Выводы. Плазменная утилизация отходов ЗЯТЦ в виде оптимальных по составу ВСОК позволяет избежать выпаривания и химической обработки, позволяет понизить энергозатраты на процесс. Принимая во внимание полученных результаты, можно рекомендовать для практической реализации процесса режимы:

- температурный интервал  $1200 \pm 100$  °С;
- состав ВСОК (34 % ОП ОЯТ : 20 % ТБФ: 46 % ГХБД);
- доля плазменного теплоносителя: 70 %.

Список литературы:

1. Андрушин И.А., Юдин Ю.А. Обзор проблем обращения с радиоактивными отходами и отработавшим ядерным топливом. Саров: ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», 2010. – 119 с.
2. Скачек М.А. Обращение с отработавшим ядерным топливом и радиоактивными отходами АЭС. М.: Издательский дом МЭИ, 2007. – 448 с.
3. Пантелеев Ю.А., Александрук А.М., Никитина С.А., Макарова Т.П., Петров Е.Р., Богородицкий А.Б., Григорьева М.Г. Аналитические методы определения компонентов жидких радиоактивных отходов. – Л.: Труды Радиового института им. В. Г. Хлопина, 2007. – Т. 12. – С. 124-147.
4. Бернадинер М.Н., Шурыгин А.П. Огневая переработка и обезвреживание промышленных отходов. – М.: Химия, 1990. – 304 с.