

**ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА ПЛАЗМЕННОЙ УТИЛИЗАЦИИ ГОРЮЧИХ
ОТХОДОВ ЗАМКНУТОГО ЯДЕРНОГО ТОПЛИВНОГО ЦИКЛА**

И.Ю. Новоселов, А.В. Ковалев

Научный руководитель: доцент, к.ф.-м.н. А.Г. Каренгин

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: zgr_best@mail.ru

**EFFICIENCY'S ESTIMATION OF PLASMA UTILIZATION OF INFLAMMABLE WASTES IN
CLOSED NUCLEAR FUEL CYCLE**

I.Yu. Novoselov, A.V. Kovalev

Scientific Supervisor: Associate Prof., PhD A.G. Karengin

National Research Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: zgr_best@mail.ru

This article shows modeling results of the joint utilization process of tributylphosphate's spent solutions into hexachlorobutadiene for uranium and plutonium extraction from nitric acid solution of spent nuclear fuel and SNF's processing wastes. Utilization process were carried out for widely temperature and mass fraction ranges of air plasma coolant. Also optimal consists of inflammable water-organic compositions and modes for practical application this process in air plasma were determined.

Госкорпорация «Росатом» первой в мире приступила к созданию замкнутого ядерного топливного цикла (ЗЯТЦ), который предусматривает поставку с АЭС отработавшего ядерного топлива (ОЯТ), его выдержку и переработку, извлечение Pu-239 и U-238, производство на их основе МОКС-топлива и его поставку на АЭС. Концепция ЗЯТЦ также предусматривает утилизацию образующихся радиоактивных отходов, обеспечивающих не только их длительное хранение, но и последующее использование.

Основой технологии переработки ОЯТ радиохимических заводов является ПУРЕКС-процесс, обеспечивающий высокую степень извлечения урана и плутония (>99,9%) с высокой степенью их очистки от продуктов деления [1].

Экстракционные технологические схемы переработки ОЯТ предусматривают применение в качестве экстрагента для извлечения урана и плутония трибутилфосфата (ТБФ) с различными разбавителями в различных концентрациях. Концентрация ТБФ в растворе экстрагента определяется степенью обогащения перерабатываемого ОЯТ. Для природного и низкообогащенного урана принята концентрация ТБФ в размере 30÷40%, а в случае переработки высокообогащенного по U-235 топлива или топлива с высоким содержанием плутония концентрацию ТБФ снижают до 2,5÷5%, чтобы избежать образования опасных концентраций делящихся нуклидов в экстракте. Как разбавители ТБФ используют керосин, очищенные углеводороды, четыреххлористый углерод, гексахлорбутадиен (ГХБД) и др.[2].

Под действием радиоактивного облучения, обусловленного высоким содержанием в растворе продуктов деления, плутония и трансплутониевых элементов, экстрагенты с течением времени теряют свою эффективность и превращаются в горючие отходы переработки ОЯТ (ГОП ОЯТ).

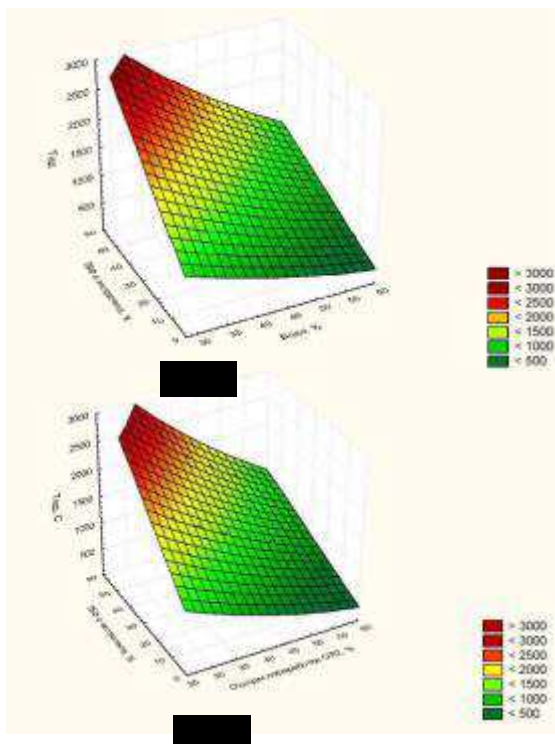


Рис. 1. Влияние содержания ТБФ и воды (а) и ТБФ и ОП ОЯТ (б) на $T_{ад}$ различных по составу ВОК

По действующей технологической схеме, после извлечения урана и плутония также образуются отходы переработки ОЯТ (ОП ОЯТ) в виде слабоконцентрированных растворов металлов, имеющих следующий модельный состав [3]: HNO_3 – 18,0%, H_2O – 81,43%, Fe – 0,07%, Mo – 0,1%, Nd – 0,11%, Y – 0,06%, Zr – 0,058%, Na – 0,04%, Se – 0,039%, Cs – 0,036%, Co – 0,031%, Sr – 0,026%.

Далее эти отходы выпариваются и после добавления необходимых химических реагентов (силикатов, фосфатов, боратов и др.) направляются на операцию остекловывания с последующим захоронением [4]. Эта технология многостадийна, требует значительных энерго- и трудозатрат, химических реагентов, времени и не предусматривает последующее использование ценных и благородных металлов.

В данной работе рассмотрена возможность эффективной раздельной и совместной плазменной утилизации ОП ОЯТ и ГОП ОЯТ в виде горючих водно-органических композиций (ВОК).

Ниже показано влияние содержания ТБФ и воды (Рис. 1,а) и ТБФ и ОП ОЯТ вместо воды (Рис. 2,б) на

adiaбатическую температуру горения ($T_{ад}$) различных по составу ВОК на основе ГОП ОЯТ.

С учетом полученных результатов могут быть рекомендованы для практической реализации следующие оптимальные составы горючих водно-органических композиций с $T_{ад} \approx 1200$ °С:

- ВОК-1 (50% Вода : 17,5% ТБФ : 32,5% ГХБД);
- ВОК-2 (50% ОП ОЯТ : 17,5% ТБФ : 32,5% ГХБД).

Таким образом, замена воды на слабоконцентрированные ОП ОЯТ не оказывает заметного влияния на $T_{ад}$ этих композиций, что указывает на возможность осуществления совместной плазменной утилизации двух отходов.

Для определения оптимальных режимов исследуемого процесса проведены расчёты равновесных составов газообразных и конденсированных продуктов плазменной утилизации оптимальных по составу горючих ВОК-1 и ВОК-2 в воздушной плазме. Для расчётов использовалась лицензионная программа «TERRA».

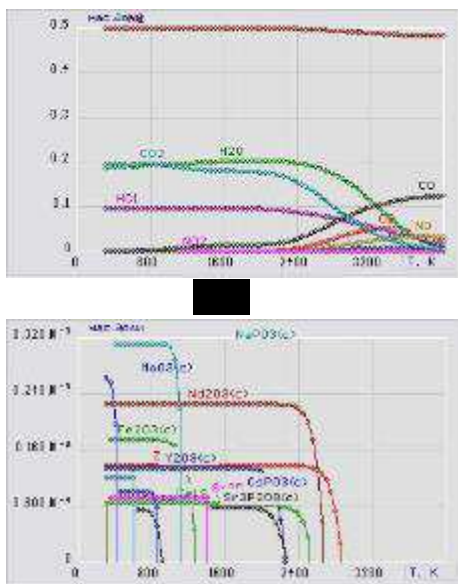


Рис. 3. Равновесный состав газообразных (а) и конденсированных (б) продуктов плазменной утилизации ГОП ОЯТ в воздушной плазме (65% Воздух : 35% ВОК-2)

На рисунках 3,а и 3,б представлены характерные равновесные составы соответственно газообразных и конденсированных продуктов совместной плазменной утилизации ГОП ОЯТ и ОП ОЯТ в виде ВОК-2 при массовой доле воздушного плазменного теплоносителя 65%.

Из анализа равновесных составов следует, что при массовой доле воздушного плазменного теплоносителя 65% основными газообразными продуктами плазменной утилизации горючих отходов переработки ОЯТ в виде ВОК-2 при температурах до 1500 К являются N_2 , H_2O , и CO_2 .

При температурах до 800 К основными конденсированными продуктами являются хлориды металлов $FeCl_2(c)$, $CoCl_2(c)$ и $SrCl_2(c)$, эффективно связывающие хлор. В интервале температур 800-1500 К образуются простые оксиды металлов $MoO_2(c)$, $Nd_2O_3(c)$, $ZrO_2(c)$ и др., а также сложные фосфорсодержащие оксиды металлов $NaPO_3(c)$, $CsPO_3(c)$ и др., эффективно связывающие фосфор. Незначительное количество сажи $C(c)$, CO , NO , NO_2 и HCl указывает на то, что процесс плазменной утилизации ВОК-2 идёт в экологически безопасном режиме. Следует отметить, что при этом в конденсированной фазе образуется магнитная окись железа.

Таким образом, совместная плазменная утилизация отходов ОП ОЯТ и ГОП ОЯТ в виде оптимальных по составу ВОК позволяет исключить стадию выпаривания, существенно снизить удельные энергозатраты на процесс, а также применить магнитную сепарацию для эффективного извлечения дисперсных твёрдых продуктов плазменной утилизации этих отходов.

С учётом полученных результатов могут быть рекомендованы для практической реализации процесса совместной плазменной утилизации отходов ОП ОЯТ и ГОП ОЯТ в воздушной плазме следующие оптимальные режимы:

интервал рабочих температур (1200 ± 100) К;

состав ВОК-2 (50% отходы переработки ОЯТ : 17,5% ТБФ : 32,5% ГХБД);

массовое отношение фаз (65% воздух : 35% ВОК).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Скачек М.А. Обращение с отработавшим ядерным топливом и радиоактивными отходами АЭС. – М.: Издательский дом МЭИ, 2007. – 448 с.
2. Кулагин В.А., Кулагина Т.А., Матюшенко А.И. Переработка отработавшего ядерного топлива и обращение с радиоактивными отходами // Journal of Siberian Federal University. Engineering and Technologies. – 2013. – № 6. – С. 123–149.
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. XII. – С. 124–147.
4. Никифоров А.С., Кулиниченко В.В., Жихарев М.И. Обезвреживание жидких радиоактивных отходов. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 184 с.