

УДК 533.9.07

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ ОКСИДНЫХ КОМПОЗИЦИЙ
ДЛЯ REMIX-ТОПЛИВА С ПОМОЩЬЮ ПЛАЗМОХИМИЧЕСКОГО СИНТЕЗА**Д.С. Щербина

Научный руководитель: доцент, к.ф.н., А.Г. Каренгин
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: dss44@tpu.ru

**RESEARCH OF THE PROCESS OF OBTAINING OXIDE COMPOSITIONS FOR REMIX
FUEL BY MEANS OF PLASMOCHEMICAL SYNTHESIS**D.S. Shcherbina

Scientific Supervisor: Assoc. Prof., Ph.D., A.G. Karengin
Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050
E-mail: dss44@tpu.ru

***Abstract.** The search was carried out for compositions of water-organic nitrate solutions from uranium, plutonium and magnesium that meet the criteria of adiabatic temperature and low calorific value, licensed by the "TERRA" program. The synthesis was carried out at atmospheric pressure and at a temperature of 300 to 6000 K*

Введение. На сегодняшний день АЭС производят значительную часть мощностей для мировой энергетики. Тенденции к развитию и расширению данной отрасли огромны. Также, данной отрасли уделяется значительное внимание в силу ее экологичности и надежности, именно поэтому рассматриваются различные способы по улучшению производительности АЭС всеми возможными способами. Одним из способов является переход на замкнутый топливный цикл и, как следствие, создание необходимого топлива, которое бы подходило под данный процесс. Таким топливом, на сегодняшний день, является REMIX-топливо, относящееся к дисперсионному ядерному топливу (ДЯТ). Использование REMIX-топлива приводит к экономии урана, так как потенциально имеется возможность в рециклировании плутония без его существенной деградации. Таким образом, переработка с некоторым повторным дообогащением может обеспечивать многократное возвращение топлива в реактор, что сокращает потребление урана реактором и накопление отработанного ядерного топлива. В то время как обычное топливо деградирует на столько, что становится полностью непригодным для работы. Плазмохимический метод получения высокодисперсных порошков оксидных композиций может составить серьезную конкуренцию существующим методам, так как имеет ряд преимуществ, таких как: одностадийность, компактность технологического оборудования, высокая скорость. Целью работы являлось моделирование и исследование процесса плазмохимического синтеза оксидных композиций с использованием лицензионной программы «TERRA» и определение оптимального состава растворов водно-органических нитратных растворов (ВОНР), обеспечивающего их энергоэффективную плазменную обработку. В данной работе представлены результаты теоретических исследований процесса плазмохимического синтеза оксидных композиций из растворов ВОНР, включающих

органический компонент (этанол, ацетон), водные растворы нитратов делящихся (уран, плутоний) и матричных (магний) металлов.

Экспериментальная часть. Магний был выбран из-за его низкого сечения захвата тепловых нейтронов (0,06 барн), отсутствия взаимодействия с ураном, относительной простоты производства и прочности сплавов [1]. Низшую теплотворную способность водно-органического нитратного раствора определяли по следующему уравнению [2].

$$Q_H^p = \frac{(100 - W - A)Q_H^c}{100} - \frac{2,5W}{100},$$

где – низшая теплотворная способность горючего компонента, МДж/кг; W – содержание воды, A – негорючих минеральных веществ в композиции %; Коэффициент 2,5 учитывает скрытую теплоту испарения воды при 0 °С, МДж/кг. Более объективным показателем горючести водно-органического нитратного раствора является адиабатическая температура горения, которую оценивали по данной формуле:

$$T_{ад} = \frac{(100 - v_{ox})Q_H^p + v_{ox}C_{ox}t_{ox}}{100VC}.$$

Водно-органические нитратные растворы, имеющие $T_{ад} \approx 1500$ К, обеспечивают их энергоэффективную плазменную переработку в воздушно-плазменном потоке.

Результаты. Оптимальные значения теплотворной способности и температуры при коэффициентах α (отношении делящегося компонента к неделящемуся) равному показано на рис. (1 – 4).

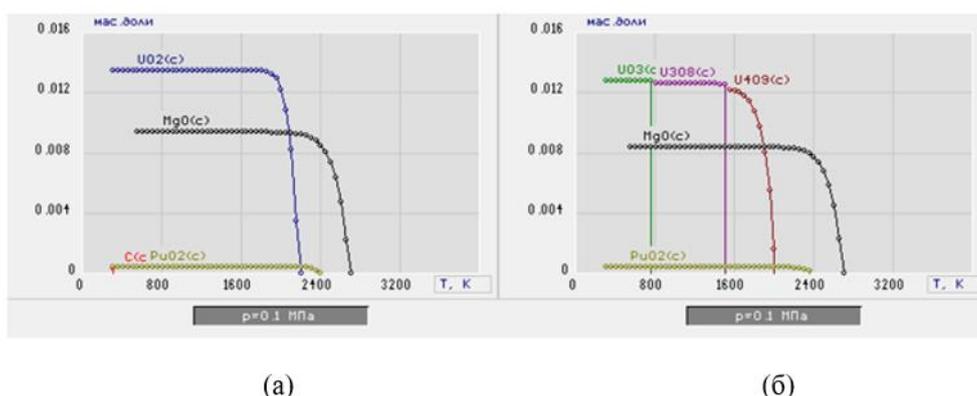


Рис. 1. Зависимость состава основных продуктов на основе этанола от температуры после плазменной обработки при $\alpha=0,033$ и массовой доле воздуха 71 % (а) и 74 % (б). MgO 40 %, ВОHP-65

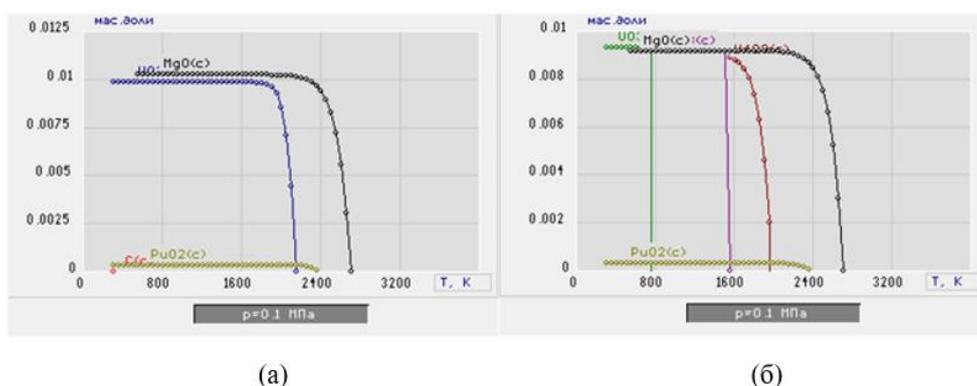


Рис. 2. Зависимость состава основных продуктов на основе этанола от температуры после плазменной обработки при $\alpha=0,033$ и массовой доле воздуха 71 % (а) и 74 % (б). MgO 50 %, ВОHP-67

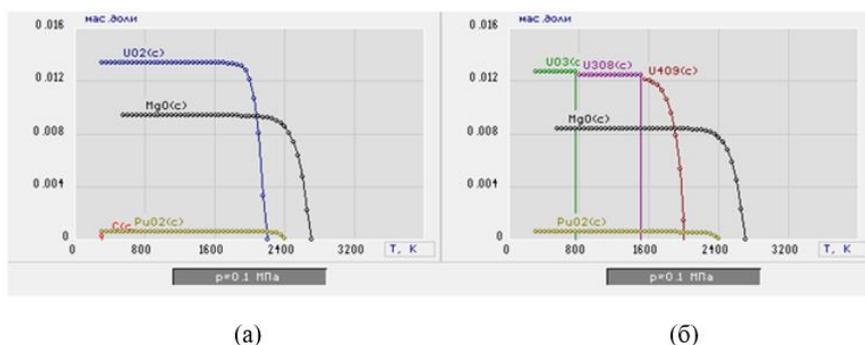


Рис. 3. Зависимость состава основных продуктов на основе этанола от температуры после плазменной обработки при $\alpha=0,044$ и массовой доле воздуха 71 % (а) и 74 % (б). MgO 40 %, ВОНР-74

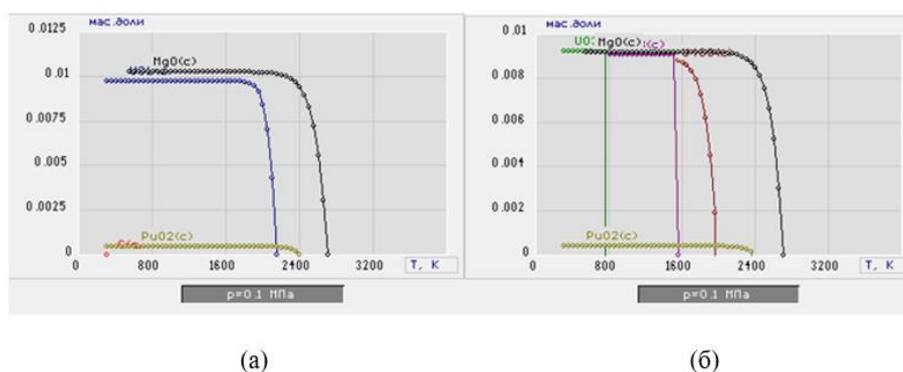


Рис. 4. Зависимость состава основных продуктов на основе этанола от температуры после плазменной обработки при $\alpha=0,044$ и массовой доле воздуха 71 % (а) и 74 % (б). MgO 50 %, ВОНР-76

Таблица 1

Результаты расчета показателей ВОНР

ВОНР, №	Воздух, %	UO ₂	U ₃ O ₈	U ₄ O ₉	UO ₃	PuO ₂	MgO	C	Q _{нр} , МДж/кг	T _{ад} , К	Э _{уд} , МДж/кг
65	73	+	-	-	-	+	+	-	8,49	1596,4	78,766
67	73	+	-	-	-	+	+	-	8,47	1587,9	90,622
74	73	+	-	-	-	+	+	-	8,49	1596,2	78,8241
76	73	+	-	-	-	+	+	-	8,48	1588,1	90,5645

Только 4 ВОНР соответствуют требованиям, обеспечивающих их энергоэффективную плазменную переработку. Все 4 ВОНР получены исключительно на этаноле при $\alpha = 0,033$ и $0,044$ при высокой массовой доле содержания MgO (40 и 50%) и высоком содержании воздуха (72 и 73%).

Заключение. Результаты расчетов могут быть использованы при создании технологии и оборудования для плазмохимического синтеза оксидных композиций из ВОНР и других растворов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kleykamp H. Selection of materials as diluents for burning of plutonium fuels in nuclear reactors // Journal of Nuclear Materials. – 1999. – Vol. 1. – P. 1-11.
2. Novoselov I., Karegin A., Shamanin I., Alyukov E. & Gusev A. Plasmachemical synthesis of nanopowders of yttria and zirconia from dispersed water-salt-organic mixtures // AIP Conference Proceedings. – 2018 – P. 1–7.