

НЕКОТОРЫЕ ПРОБЛЕМЫ ХИМИИ ЖИДКОСОЛЕВЫХ ЯДЕРНЫХ РЕАКТОРОВ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

© Ю. П. Зайков, В. А. Хохлов, В. К. Афоничкин*

С. В. Волков, А. А. Омельчук**, 2013

* Институт высокотемпературной электрохимии УрО РАН,

Екатеринбург, Россия, Zaikov@ihte.uran.ru

** Институт общей и неорганической химии им. В. И. Вернадского НАН
Украины, Киев, Украина, omelchuk@ionc.kiev.ua

Стратегия развития атомной энергетики в первой половине XXI в. базируется на следующих главных принципах:

- *естественная безопасность*, исключая крупные реакторные аварии с выбросами радиоактивных продуктов в природную среду;
- *нераспространение*, исключая производство «начинки» атомного оружия;
- *замкнутый ядерный цикл энергетических установок*, включающий регенерацию отработавшего топлива (ОЯТ) и обеспечивающий возвращение обогащенного топлива в реактор [1–3].

Среди шести базовых направлений, связанных с разработкой ядерных энергетических установок нового поколения, свое место заняли реакторы ЖСР с использованием расплавленных солей в качестве топливных композиций, теплоносителей и сред для регенерации ОЯТ. В таких агрегатах разгон реактора, приводящий к резкому нагреву и взрыву, как в случае с Чернобыльской станцией, невозможен. При повышении температуры плотность расплавленного солевого топлива снижается и происходит ослабление нейтронного потока, что предотвращает неконтролируемую цепную реакцию и перегрев реактора. Другие решающие преимущества ЖСР заключаются в том, что солевые расплавы выполняют в них роль эффективных теплоносителей и сред для пирохимической очистки топлива от продуктов деления. Более того, топливные смеси с приемлемыми нейтронно-физическими свойствами (растворы фторидов урана, плутония, тория в расплавленных смесях фторидов таких металлов, как литий, натрий, бериллий и цирконий) обладают хорошей совместимостью с конструкционными материалами реакторов.

Упомянутые выше принципы положены в основу проводимых с другими заинтересованными организациями работ Института высокотемпературной электрохимии УрО РАН (ИВТЭ) и Института общей и неорганической химии им. В. И. Вернадского НАН Украины (ИОНХ) по проблемам ЖСР, в том числе исследований по совместному проекту «Химия фторидных топливных композиций и теплоносителей альтернативной ядерной энергетики».

Химические аспекты ЖСР (тепловых реакторов, реакторов на быстрых нейтронах, реакторов-размножителей и реакторов-сжигателей), заключаются в выборе подходящих топливных композиций, изучении свойств их расплавов и коррозионной активности в отношении металлических сплавов и углеродных материалов, которые используются в ядерных энергетических установках.

Комплекс изучаемых свойств, необходимых для обеспечения длительной безаварийной работы ЖСР и реализации эффективных способов переработки отработавшей топливной смеси, защиты конструкционных материалов от коррозии, весьма обширен и разнообразен. Он включает базовые термодинамические и термохимические характеристики (температуру плавления, теплоты фазовых превращений, термическую стабильность, давление насыщенных паров, растворимость в солях-растворителях фторидов урана, плутония, тория и продуктов деления), теплофизические параметры (плотность, вязкость, теплоемкость, тепло- и температуропроводность), электрохимические свойства (окислительно-восстановительные потенциалы расплавленных солевых смесей, равновесные потенциалы разложения фторидов осколочных элементов в расплавах, стационарные потенциалы коррозии и скорости коррозии). Для получения надежных данных по свойствам химически агрессивных фторидных расплавов были разработаны и использованы экспериментальные установки оригинальной конструкции, а также предложены способы их прогнозирования, особенно полезные для расплавленных смесей, содержащих изотопы с высокой радиационной активностью.

Приведены результаты комплексных физико-химических исследований фторидных расплавов, которые могут быть использованы как топливные смеси и теплоносители, а также модельных жидкосолевых композиций, содержащих продукты деления; обобщены сведения о коррозии никель-молибденовых сплавов и углеродных материалов в расплавах, содержащих тетрафторид циркония, в том числе при электронном облучении; обсуждаются проблемы регенерации топливных композиций, в основу которых положено восстановление ионов редкоземельных элементов металлическим цирконием и свинцово-натриевым сплавом во фторидной среде; проанализированы закономерности растворения оксидов РЗЭ, никеля, титана, хрома в расплавленных смесях фторидов металлов; даны рекомендации по регулированию редокс-потенциала расплавленных топливных композиций и теплоносителей химическими и электрохимическими методами без использования традиционных диафрагмированных электродов сравнения. Отмечено, что для существенного продвижения концепции ЖСР необходимы дополнительные сведения о физических и химических свойствах более широкого класса фторидных расплавов, их окислительно-восстановительных потенциалах, о коррозионной стойкости в этих средах конструкционных материалов.

Список литературы

1. Стратегия развития атомной энергетики России в первой половине XXI века. М.: ЦНИИАтоминформ, 2001. 64 с. // <http://www.twirpx.com/file/520903>.
2. A Technology Roadmap for Generation IV Nuclear Energy Systems. Dec. 2002. Issued by the U.S. DOE Nuclear Energy Research Advisory Committee // <http://www.gen-4.org/PDFs/GenIVRoadmap.pdf>.
3. Энергетическая стратегия России на период до 2030 года. Расп. Правительства РФ от 13 ноября 2009 г. № 1715-р.