

производительность, высокие температуры для добычи водорода, улучшенную безопасность. Планируется, что реакторы четвертого поколения будут работать на низкообогащенном уране, а топливо будет выгорать полностью. Сейчас ведутся разработки высокотемпературных газовых реакторов ВТГР или HTGR (High temperature gas cooled reactors).

Плюсы реакторов типа ВТГР:

- температура теплоносителя на выходе >900 °С;
- улучшенный уровень безопасности из-за стойкого к температуре топлива, инертного неагрессивного гелиевого теплоносителя;
- высокий КПД;
- возможность получать водород, вырабатывать электроэнергию и высокопотенциальное тепло в одном месте.

Недостатки реакторов типа ВТГР:

- высокие перепады температуры гелиевого теплоносителя на входе и на выходе;
- низкая теплопроводность и теплоемкость теплоносителя;
- сложность в регистрации утечки гелиевого теплоносителя;
- большие затраты энергии на прокачку теплоносителя;
- необходимы конструкционные материалы, которые способны работать в очень жестких условиях (высокая температура и большие потоки быстрых нейтронов).

Таким образом, очевидно, что создание реакторов четвертого поколения внесет большой вклад в развитие не только ядерных технологий, но и промышленности в целом, так как это открывает источник к ресурсам, которые получить в настоящее время проблематично. Помимо этого, новое поколения ядерных реакторов отвечает повышенным требованиям безопасности и экономичности. А так же, при создании таких установок возможно замыкание ядерного топливного цикла, что является большим скачком в развитии.

Список литературы:

1. E. Fermi. Experimental Production of a Divergent Chain Reaction // American Journal of Physics. – 1952. – Vol. 20. – P. 536.
2. Ларин И. И. Реактор Ф-1 был и остаётся первым // Наука и жизнь: Журнал. – М., 2007. – В. 8.
3. Петросьянц А.М. Ядерная энергетика. – М.: Наука, 1981. – 268 с.
4. Бойко В. И., Силаев М. Е. Ядерная энергия, ядерный топливный цикл и прикладные ядерные технологии. Ядерная энергия, ядерный топливный цикл и прикладные ядерные технологии: учебное пособие. – М.: МНТЦ, 2011. – 282 с.
5. Toshiba – Advanced Boiling Water Reactor – Introduction

Остекловывание - метод для иммобилизации радиоактивных отходов высокой активности

Катаева О.И., Ластовец Ю.В.

o.i.kataeva@gmail.com

*Научный руководитель: ассистент кафедры ФЭУ, Седнев Д.А.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет*

Введение

За последние 50 лет на Земле образовалось огромное количество радиоактивных отходов, и с каждым годом их становится все больше. Отработанное ядерное топливо, извлеченное из ядерного реактора, является самым высокоактивным радиационным материалом, от безопасного использования которого зависит дальнейшая судьба атомной энергетики.

Процесс остекловывания является признанным методом обращения с РАО высокой активности в мировой практике. Применение данного метода значительно сокращает объем отходов, в результате чего образуется устойчивая к воздействию окружающей среды и пригодная для долговременного хранения форма РАО. Агентство по охране окружающей среды США выделило этот метод как наилучшую технологию при утилизации высокоактивных отходов.

Имобилизация РАО с помощью боросиликатных стекол

Метод остекловывания используется для иммобилизации ВАО с 1985 года. Одним из преимуществ данного процесса, по сравнению с другими технологиями обращения с РАО, является прочность иммобилизации отходов в матрице стекла. Важно, что стекло устойчиво к выщелачиванию. Кроме того, имеется возможность включения в структуру стекла атомов других элементов (органических и неорганических), которые значительно различаются по своему химическому составу [1].

Стекло представляет собой некристаллический, твердый материал, который обладает низкой пористостью. Оно образуется такими компонентами, как оксиды кремния, алюминия, бора, щелочных и щелочноземельных материалов. В технологии остекловывания используются боросиликатные стекла для иммобилизации высокорadioактивных отходов. Такие стекла впервые исследовали в 50х годах в Америке. В настоящее время боросиликатные стекла применяются для процесса остекловывания в США, Франции, Британии, Японии и Германии. Речь идет об оксидных стеклах, которые базируются на матрице $\text{SiO}_2\text{-B}_2\text{O}_3\text{-Na}_2\text{O}$, где SiO_2 является основным сырьем для изготовления стекла, а бор служит модификатором, понижающим температуру варки и увеличивающий прочность стекла. Данные стекла способны расплавляться при температуре 900-1200 °С. Именно поэтому эти стекла широко применяются при иммобилизации высокоактивных отходов. Основной целью процесса является максимальная загрузка матрицы стекла элементами ВАО. Обычно такая загрузка составляет 15-25 % от общей массы.

Процесс внедрения радиоактивных элементов в структуру стекла состоит из нескольких этапов. Во-первых, происходит смешивание РАО в виде шлама со стеклообразующими материалами. Затем следует процесс плавления. Подача РАО и стеклянного порошка в установку для остекловывания поддерживается на определенном уровне для получения стекла заданного химического состава. На рисунке 1 представлена принципиальная схема технологии остекловывания.

Выпаривание жидких ВАО при 100 °С;
Нитраты солей возвращаются в раствор;

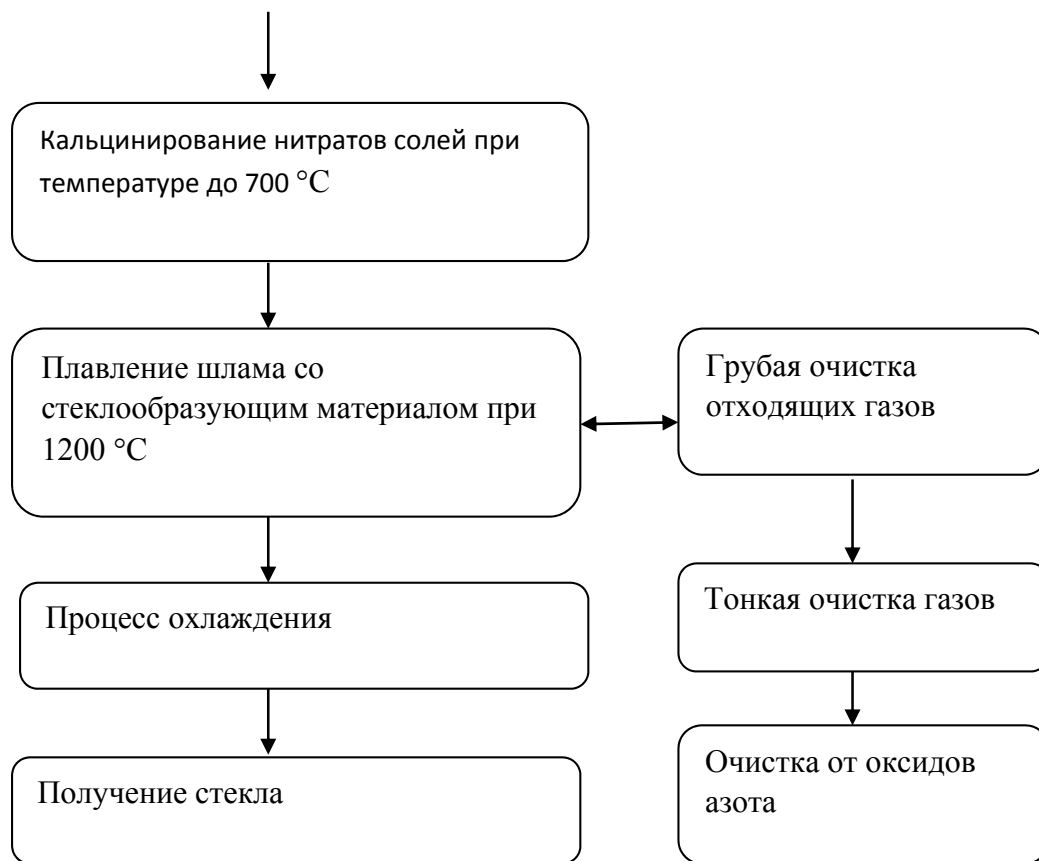


Рисунок 1. Принципиальная схема технологии остекловывания жидких ВАО.

Технологии процесса остекловывания

Выделяют две технологии процесса остекловывания, которые применяются в ядерной энергетике. Первая была разработана во Франции под названием «AVM-Prozess». Она основана на двух этапном процессе с отдельной сушкой и прокаливанием отходов, а плавление стекляного материала происходит в индукционно-подогреваемой металлической печи.

Другой альтернативный процесс был разработан в Научно-исследовательском центре, институт ядерной утилизации отходов, Карлсруэ, Германия. Данная технология остекловывания основана на керамической печи плавления. Во время исследований были разработаны различные типы печей для плавления, которые проходили долговременные испытания с искусственно-созданными РАО. На рисунке 2 показан пример тестируемой установки по переработки отходов (VW-1), которая в дальнейшем после успешно пройденных испытаний в рамках проекта «Technologie-Transfer» в 1994/1995 годы была доставлена в Китай [2].



Рисунок 2. Установка, созданная в КИТ. Вид на плавильную печь.

Следующий этап развития – завод по остекловыванию РАО «РАМЕЛА», который был построен в Бельгии. На данной установке, первоначально под немецким, а позже под бельгийским руководством, проходили работы по переработке жидких ВАО с 1985 года. К 1991 году было иммобилизовано 900 м³ жидких отходов в 490 тонн стекла. В то время уже три установки с керамической печью функционировали на территории США (Savannah River, West Valley) и Японии. В настоящий момент ФРГ имеет на своей территории прототип установки, которая была разработана научно-исследовательским центром. Данная технология остекловывания будет служить для утилизации накопленных продуктов вторичной переработки и для утилизации жидких ВАО.

Главный компонент процесса – керамическая плавильная печь

На рисунке 3 схематически представлено строение и принцип функционирования керамической печи, разработанной в INE. В данной печи область плавления и газовое пространство, которое расположено выше, окружено специальным термостойким керамическим материалом. Имеются несколько слоев-изоляторов, которые позволяют контролировать теплообменные процессы. Внешний кожух образуется из абсолютно газонепроницаемого корпуса высококачественной стали.

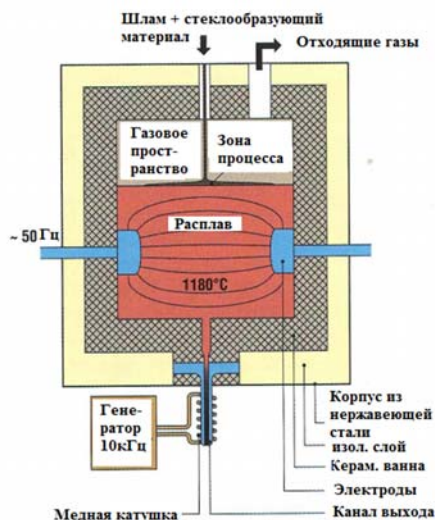


Рисунок 3. Принцип функционирования керамической печи.

Пара электродов, погруженная диаметрально противоположно в электропроводящий раствор, служит для электрического нагревания плавильной ванны до температуры 1150-1180°C. Керамические плавильные печи используются в индустрии благодаря следующим свойствам:

- возможность получать стекла с необходимым составом;
- высокое качество получаемого стекла (гомогенность);
- длительный срок эксплуатации плавильной печи (2-5 лет);
- высокая производительность.

Плавильная печь это центральный компонент процесса остекловывания. Упрощенная схема всего процесса показана на рисунке 4. Технология включает область подачи РАО и стеклянного порошка, систему плавления и газоочистки, вторичную переработку отходов, прошедших через систему газоочистки и заполнение контейнеров стеклообразной субстанцией.

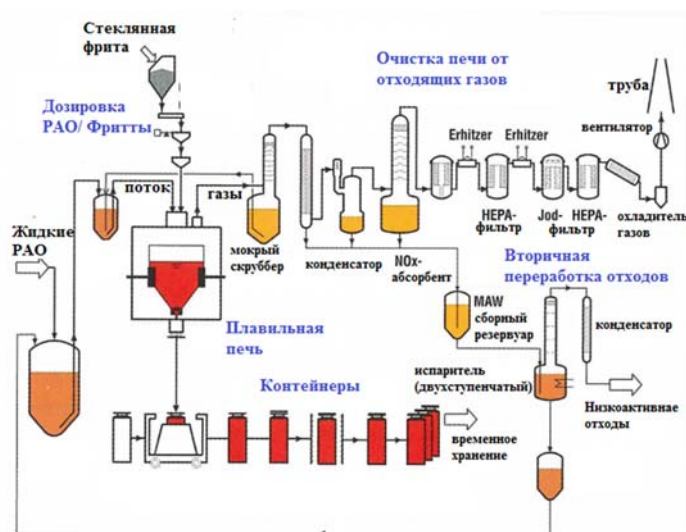


Рис.4. Упрощенная схема процесса остекловывания, установка VEK, Карлсруэ.

Заключение. Вопрос обращения с РАО высокой активности сегодня актуален во многих странах. Это связано с тем, что на многих АЭС в процессе эксплуатации скопилось большое количество РАО, кроме того в настоящее время многие станции в мире подлежат демонтажу. Сегодня технология остекловывания является лучшей для иммобилизации ВАО. Поскольку боросиликатные стекла очень стабильны и долговечны [3]. Они обеспечивают высокий уровень надежности в течение длительного периода времени. Данную технологию используют многие страны, такие как Франция, Япония, Германия, США и др.

Список литературы:

1. Батюхнова О.Г. Российская федерация, Бергман К. Швеция и др. Технологические и организационные аспекты обращения с радиоактивными отходами // Международное агентство по атомной энергии, Вена, 2005, с. 135 – 143.
2. G/ Roth, « INE's HLLW Vitrification Technology», atw 40. Jg., Heft 3, 1995, S. 144-177
3. Ляшенко А.В. СЧВ-иммобилизация высокоактивных промышленных отходов.-М.: Наука, 2004. – 275с

Использование тория в малогабаритных реакторах

Храпов Д. А.

cheshirskyvolk@mail.ru

Научный руководитель: доцент, кандидат физико-математических наук, Чертков Ю. Б., Кафедра физико-энергетических установок (ФЭУ), ФТИ, ТПУ.

Внедрение ториевого топлива в атомную энергетику диктуется несколькими причинами: запасы тория на планете превосходят запасы урана в 4 - 5 раз. Ториевые месторождения более доступны, чем урановые. Особенно это важно для России: российских разведанных запасов урана хватит только на 20 лет, а запасов тория в месторождениях в районе Новокузнецка и Томска (туганское месторождение тория, титана, циркония) достаточно много.

С точки зрения наработки делящихся нуклидов, преимущество тория перед ураном состоит в его тугоплавкости: лишь при 1400-1500°C кристаллическая решетка тория начинает претерпевать фазовые превращения. Это позволяет реактору на ториевом горючем работать при более высоких температурах. Ториевая энергетика, в отличие от урановой, не нарабатывает плутоний и трансурановые элементы. Это важно как с экологической точки зрения, так и с точки зрения нераспространения ядерного оружия (Выделение из уранового топлива оружейных актиноидов позволяет создать государствам-«изгоям» и террористам собственное ядерное оружие).

Только один из изотопов тория ([торий-232](#)) обладает достаточно большим [периодом полураспада](#) по отношению к [возрасту Земли](#), поэтому практически весь природный торий состоит только из этого нуклида. Сам ²³²Th тепловыми нейтронами не делится, но поглощение нейтрона торием-232 приводит к образованию урана-233, имеющего высокую вероятность испускать нейтроны в результате деления потоками тепловых и промежуточных нейтронов. Поэтому его