

## **ИЗУЧЕНИЕ МЕТОДОМ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПОВЕДЕНИЯ РАДИОНУКЛИДОВ ПРИ ГОРЕНИИ РАДИОАКТИВНОГО ГРАФИТА В ПАРАХ ВОДЫ**

Барбин Н.М.

*Уральский государственный аграрный университет, г. Екатеринбург, Россия*  
[nmbarbin@mail.ru](mailto:nmbarbin@mail.ru)

**Аннотация:** Компьютерное термодинамическое моделирование использовано для изучения поведения радионуклидов при газофазном сжигании радиоактивного графита в парах воды.

Радиоактивный графит применяется как конструкционный материал, а так же как замедлитель и отражатель в уран – графитовых реакторах канального типа. Кроме того, реакторный графит используется в качестве блоков отражателя и оболочек ТВЭЛов высокотемпературных газоохлаждаемых атомных реакторов.

В связи с завершением срока эксплуатации, а также в результате аварий образуется большое количество радиоактивных графитных отходов. По оценкам, общее количество облученного графита в странах мира превышает 230 – 250 тыс. тонн. Реакторный графит составляет большую часть накопленных в мире твердых радиоактивных отходов.

Существующие технологии переработки ядерных графитных отходов в большинстве своем основаны на изоляции радиоактивного графита от окружающей среды. Однако они не способны обеспечить значительное уменьшение объема. Поэтому технология высокотемпературной обработки, в парах воды, рассматривается в качестве эффективной замены, так как она обеспечивает значительное сокращение объема отходов.

Радиоактивный графит содержит различные радионуклиды. По этому, обработка в парах воды рассматривается как эффективное средство комплексной обработки и удаления графитовых отходов атомной промышленности, приемлемость выбросов радиоактивных элементов для сохранения окружающей среды является основным критерием успешного развития процесса.

Радиоактивные элементы невозможно уничтожить сжиганием. Они либо остаются с негорючей частью отходов, либо испаряются в зависимости от степени их летучести. Газообразные радиоактивные элементы конденсируются на более крупные частицы в потоке газов, которые удаляются газоочистительной системой или собираются вокруг «зародыша» и образуют собственную субмикронную аэрозоль. Такие частицы часто могут проникать в оборудование газоочистительной системы. Вынесенные субмикронные частицы легко вдыхаются в легкие. Они могут также откладываться на поверхность водоемов и продовольственные культуры.

В настоящей работе изучалось поведение радионуклидов при нагревании (горении) радиоактивного графита в парах воды. Исследование проводили методом термодинамического моделирования.

Термодинамическое моделирование заключается в термодинамическом анализе равновесного состояния систем в целом (полный термодинамический анализ). Теоретические основы термодинамического моделирования изложены в (Моисеев и др., 2002; Барбин и др., 2014). В данной работе изучено поведение соединений кальция, стронция и цезия при нагреве в атмосфере водяного пара (Барбин и др., 2014).

В интервале температур от 273 до 773 К практически весь кальций находился в виде конденсированного  $\text{Ca}_2\text{CO}_3$ . Дальнейшее повышение температуры до 1000 К ведет к уменьшению доли конденсированного  $\text{CaCO}_3$  до 50 мол. % и появлению и увеличению доли конденсированного  $\text{CaO}$  до 50 мол. %. В интервале температур от 1000 до 1273 К происходит увеличение содержания конденсированного  $\text{CaO}$  с 50 до 96 мол. % и уменьшение доли конденсированного  $\text{CaCO}_3$  практически до нуля. Дальнейший рост температуры до 1500 К

вызывает уменьшение доли конденсированного  $\text{CaO}$  до 50 мол. % и появления  $\text{Ca(OH)}_2$ . В интервале температур от 1500 до 2173 К наблюдается увеличение содержания  $\text{Ca(OH)}_2$  с 50 до 98 мол. % и уменьшение доли конденсированного  $\text{CaO}$  практически до нуля. Дальнейшее повышение температуры до 3273 К ведет к уменьшению доли  $\text{Ca(OH)}_2$  до 40 мол. % и появлению  $\text{CaOH}$ ,  $\text{Ca}$  и  $\text{CaO}$ .

При повышении температур с 373 до 573 К происходит увеличение содержания конденсированного  $\text{SrCO}_3$  (с 58 до 99 мол. %) и уменьшение содержания конденсированного  $\text{SrCl}_2$  (с 20 до 1 мол. %). В условиях повышения температур с 573 до 973 К примерно 99 мол. % стронция находится в виде конденсированного  $\text{SrCO}_3$ . Рост температур с 973 до 1373 К приводит к уменьшению доли конденсированного  $\text{SrCO}_3$  до 13 мол. % и появлению конденсированного  $\text{SrO}$  и паров  $\text{Sr(OH)}_2$ . В интервале температур 1373 – 1673 К происходит резкое увеличение содержания  $\text{Sr(OH)}_2$  (с 45 до 97 мол. %) и резкое уменьшение содержания конденсированного  $\text{SrCO}_3$  и  $\text{SrO}$  практически до нуля. Дальнейшее повышение температуры до 3273 К приводит к уменьшению содержания  $\text{Sr(OH)}_2$  до 38 мол. % и появлению  $\text{SrOH}$ ,  $\text{SrO}$  и  $\text{Sr}$ .

В интервале температур 373 – 573 К примерно 100 мол. % цезия находится в виде конденсированного  $\text{CsCl}$ . При повышении температур с 573 до 773 К происходит уменьшение его доли до 43 мол. % и появления паров  $\text{CsCl}$ . Рост температуры с 773 до 873 К приводит к увеличению содержания паров  $\text{CsCl}$  (с 56 до 95 мол. %) и уменьшению содержания конденсированного  $\text{CsCl}$  (практически до нуля). Дальнейшее повышение температур до 1100 К вызывает уменьшение содержания паров  $\text{CsCl}$  до 31 мол. % и появление и увеличение доли паров  $\text{CsOH}$  с 2,5 до 50 мол. %. В интервале температур 1100 – 1573 К происходит увеличение доли  $\text{CsOH}$  до 96 мол. % и уменьшение содержания  $\text{CsCl}$  практически до нуля. Дальнейший рост температуры до 3073 К приводит к уменьшению содержания  $\text{CsOH}$  до 51 мол. % и появлению  $\text{Cs}$ . При повышении температуры до 3273 К происходит увеличение содержания паров  $\text{Cs}$  с 46 до 59 мол. % и уменьшение содержания  $\text{CsOH}$  с 51 до 37 мол. %.

Наряду с применяемыми методами (Алексеев и др., 2014; Алексеев и др., 2014; Алексеев и др., 2014), термодинамическое моделирование позволяет определить поведение радионуклидов.

## Литература

- Моисеев Г.К., Вяткин Г.П., Барбин Н.М. Применение термодинамического моделирования для изучения взаимодействия с участием ионных расплавов. // Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2002. – 166 с.
- Барбин Н.М., Терентьев Д.И., Пешков А.В., Алексеев С.Г. // Пожаровзрывобезопасность. 2014. № 3. С. 58-67
- Барбин Н.М., Кобелев А.М., Терентьев Д.И., Алексеев С.Г. // Пожаровзрывобезопасность. 2014. № 10. С.38-47.
- Алексеев С.Г., Смирнов В.В., Алексеев К.С., Барбин Н.М. // Подаровзрывобезопасность. 2014. № 3. С. 30-43.
- Алексеев С.Г., Смирнов В.В., Барбин Н.М. // Пожаровзрывобезопасность. 2012. № 5. С. 35-41.
- Алексеев С.Г., Алексеев К.С., Смирнов В.В., Барбин Н.М. // Пожаровзрывобезопасность. 2014. № 5. С.18-37