

ядерного топливного цикла (ЯТЦ). Как на действующих объектах ЯТЦ, так и на вновь создаваемом ОДЭК полностью не исключены нарушения нормальной эксплуатации, связанные с выходом радиоактивных веществ (РВ) за границы барьеров безопасности. При этом анализ литературных источников показал отсутствие методики/алгоритма расчета скорости выхода радионуклидов в системы газоочистки/вентиляции в случае нарушения целостности барьеров безопасности, в том числе проливах водных и органических сред за границы герметичных контуров (емкости, трубопроводы, запорная арматура) при нарушениях нормальной эксплуатации, включая аварии. В связи с вышеизложенным, целью работы являлось определение выхода РВ (расчетным и экспериментальными методами) в газообразную фазу из жидких радиоактивных сред при разгерметизации оборудования.

В качестве объектов исследования использовали имитаторы жидких технологических сред гидрометаллургического передела, включая органические растворы и расплавы солей, состав которых максимально приближен к растворам переработки ОЯТ на МП ОДЭК. Экспериментально скорость выхода РВ в газовую фазу определяли в зависимости от температуры и состава технологической среды, и скорости испарения на лабораторной установке Экспериментального участка ФБУ «НТЦ ЯРБ». Долю выхода элементов рассчитывали по адаптированной формуле из ГОСТ Р 52126-2003 «Отходы радиоактивные. Определение химической устойчивости отвержденных высокоактивных отходов методом длительного выщелачивания». В качестве основного метода анализа элементов в жидких средах использовали масс-спектрометрию с индуктивно-связанной плазмой.

В результате проведенных исследований было установлено, что:

- температура технологической среды существенно влияет на процесс уноса РВ с поверхности жидкости и переход их в газовую фазу. Наибольший унос наблюдали при температурах 90°C, особенно высокие значения скорости выхода отмечены для Re (имитатор Tc), Sr, Ce и Eu;
- при изменении состава технологических сред (со снижением концентрации РВ в растворе от одной технологической операции к другой) доли выхода элементов в газовую фазу имеет тенденцию к повышению;
- добавление в имитатор раствора комплексонов и восстановителей фактически не вызывает увеличения скорости выхода элементов, а наоборот, приводит к частичному подавлению перехода химических элементов в газовую фазу;
- скорости выхода элементов из органической фазы (экстракта) ниже или сопоставимы со скоростью выхода элементов из исходных водных растворов;
- из расплава солей наибольшие значения выхода наблюдаются при использовании индукционного нагрева в воздушной атмосфере.

Результаты исследований по выходу РВ в газовую фазу позволили также более точно определить возможное радиационное воздействие на население и окружающую среду при нарушениях нормальной эксплуатации МП ОДЭК, связанных с проливами жидких технологических сред.

* * *

ОЦЕНКА УСЛОВИЙ САМОВОСПЛАМЕНЕНИЯ ОТРАБОТАВШИХ ИОНООБМЕННЫХ СМОЛ АЭС ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ ХРАНЕНИИ/ЗАХОРОНЕНИИ В КОНТЕЙНЕРЕ ТИПА НЗК

А. В. Родин, А. М. Кощеева, К. В. Шеламов, А. В. Понизов

ФБУ «Научно-технический центр по ядерной и радиационной безопасности», Москва, Россия

На атомных электростанциях накоплено большое количество радиоактивных отходов в виде отработавших ионообменных смол (ОИОС). Достаточно простым методом обращения с ними является осушка ОИОС с последующим захоронением в невозвратном защитном контейнере (НЗК). При этом известно, что при температурах выше 160°C не исключено разложение анионообменных смол с самовозгоранием. Поэтому в данной работе была проведена оценка условий самовозгорания смолы Токем-845 при захоронении в НЗК.

Анализ Токем-845 в нитратной форме методом дифференциально-сканирующей калориметрии показал протекание многостадийного экзотермического процесса с общим тепловыделением порядка 400 Дж/г в диапазоне температур 200–350°C, что, с учетом международных подходов, позволяет потенциально отнести осушенную смолу к классу саморазлагающихся веществ и смесей (класс 4.1 b), представляющих опасность в отношении возможного развития теплового взрыва. При этом нагрев смолы в исходной (хлоридной) форме не сопровождается тепловыделением, что указывает на то, что экзоэффект связан с взаимодействием смолы с нитрогруппами. Для описания протекающего при нагреве процесса была предложена кинетическая модель типа $A \rightarrow B \rightarrow C$, позволяющая описать наблюдаемое снижение температуры начала тепловыделения при уменьшении скорости нагрева. Каждая из реакций описывается следующим уравнением общего автокатализа:

$$r_i = k_0 e^{-E/RT} (1 - \alpha)^{n_1} \left(z_0 e^{-E_z/RT} + \alpha_i^{n_2} \right). \quad (1)$$

Полученные кинетические параметры сведены в таблицу.

Параметры кинетического уравнения

Параметр	k_0	E	n_1	n_2	z_0	E_z	Q
Единица измерения	c^{-1}	кДж/моль	—	—	—	кДж/моль	кДж/кг
Значение для $A \rightarrow B$	$2,12 \cdot 10^{18}$	203,4	2	0,3	$2,26 \cdot 10^{-6}$	–8,8	215
Значения для $B \rightarrow C$	$2,12 \cdot 10^{10}$	122,9	3	0,79	0,11	8,1	117

С использованием кинетических параметров оценена температура самовоспламенения смолы в НЗК со следующими геометрическими размерами: длина 1,7 м, ширина 1,7 м, высота 1,4 м, толщина стенки 0,15 м. Самовоспламенение ОИОС происходит при температуре выгрузки смолы в контейнер выше 160°C, учитывая, что начальная температура стенки контейнера и окружающей среды равна 25°C. Также оценено расчетное время до воспламенения смолы при внешнем пожаре. Для этого смоделированы ситуации, в которых начальная температура контейнера и его содержимого равна 25°C, а внешняя температура окружающей среды составляет 600, 800, 1200°C. В этом случае самовоспламенение происходит через 4,3; 3,6; 2,8 часа соответственно. Учитывая полученные результаты, можно оценить время для принятия решений по ликвидации возгорания.

* * *

ТЯЖЕЛЫЕ И КРУПНОМАСШТАБНЫЕ АВАРИИ АТОМНОЙ И ВОДОРОДНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

В. А. Симоненко

ФГУП «Российский Федеральный Ядерный Центр – Всероссийский НИИ технической физики имени академика Е. И. Забабахина», Снежинск, Россия

В нашей стране принято считать началом рождения атомной энергетики пуск 24 июня 1954 г. в Обнинске первой АЭС с канальным ядерным реактором АМ-1 и электрической мощностью 5 МВт. Производственная работа ее была завершена 2002 г. в силу возросшей стоимости ее эксплуатации. В настоящее время на 11 АЭС работает 37 энергоблоков с установленной мощностью около 30 ГВт. При этом 24 реактора с водой под давлением, в основном ВВЭР и два КЛТ40С для плавучей станции «Ломоносов», 11 канальных кипящих реакторов: 8 РБМК-1000 и 3 РПГ-6 (на Билибинской АЭС по 12 МВт), еще 2 реактора на быстрых нейтронах: БН-600 и БН-800 (885 МВт). На 1 января 2020 г. доля установленных мощностей атомной энергетики составляла 12,31%, а доля выработки электроэнергии по отношению к объединенным энергосистемам страны 20,28%. В 2010 г. при пуске энергоблока Ростовской АЭС В. В. Путин предложил к 2030 г. увеличить мощности атомной генерации с 16 до 20–30%. В мире в