

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 621.039.733

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО РОТОРНОГО ИНДУКЦИОННОГО КАЛЬЦИНАТОРА ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ ЖИДКИХ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ

*Дмитриев М.С., Коляскин А.Д. (НИЯУ МИФИ, г. Москва),
Белый М.Д., Швецов С.Ю. (ФГУП «Радон», г. Москва)*

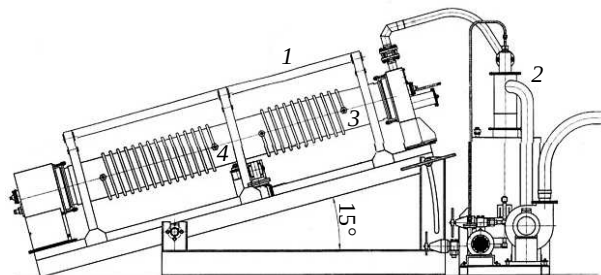
Изоляция радиоактивных отходов, в том числе жидких и сокращение срока обслуживания мест хранения обуславливают необходимость перевода радионуклидов и других соединений в твердые матрицы с минимизированием их выхода [1]. Отверждение может быть реализовано в одно- или двухстадийном процессе. В настоящее время кальцинация проводится, в основном, в одностадийном процессе — концентрированный раствор радиоактивных солей в смеси со стеклообразующими добавками подают непосредственно в аппарат остекловывания в зону высокой температуры, где последовательно происходят их обезвоживание, кальцинация и плавление с образованием стеклоподобных материалов.

В настоящей работе рассматривается конструкция кальцинатора, являющегося элементом схемы двухстадийной переработки жидких радиоактивных отходов — обезвоживание и кальцинация проводятся в одном аппарате, остекловывание — в другом. Двухстадийная переработка позволяет значительно увеличить производительность подготовки жидких отходов к плавлению (или уменьшить габаритные размеры плавителя) и повысить радиоэкологическую безопасность. В настоящее время кальцинация жидких отходов перед остекловыванием принята во Франции и Великобритании и осуществляется в аппаратах роторного типа с нагревом рабочей камеры с помощью печей сопротивления, в которых проводится радиационный нагрев вращающейся трубы омическим нагревателем через воздушный зазор.

В ходе кальцинации можно условно выделить процесс выпаривания и удаления свободной и связанной воды и непосредственно кальцинацию, т.е. разложение солей с образованием оксидов и других термически стабильных соединений с высокой температурой плавления. Химически связанная вода из концентрата отходов удаляется в интервале температуры, существенно превышающей температуру кипения.

Опытный образец роторного индукционного кальцинатора состоит непосредственно из кальцинатора 1, узла газоочистки 2 и двух среднечастотных генераторов для нагрева рабочей камеры по одному на каждый участок (рис. 1) [2]. Рабочая камера выполнена из бесшовной коррозионно-стойкой трубы длиной 2500 мм, наружным диаметром 270 мм со стенкой толщиной 10 мм. К трубе с обоих концов и в средней части приварены три опорных кольца. Среднее кольцо разделяет камеру на два участка: первый 3 длиной 1140 мм, в который инжектируются жидкие отходы и удаляется влага, и второй 4 высокотемпературный длиной 980 мм, где кальцинируется получающийся продукт. На это же кольцо передается вращение от мотора-редуктора с частотно-регулируемым приводом. Привод позволяет плавно регулировать частоту вращения трубы кальцинатора в диапазоне 3—30 об./мин в прямом и обратном направлении. Конструкция кальцинатора позволяет устанавливать угол наклона рабочей камеры к горизонту до 15 град.

Частота и мощность генератора составляют 22,5 кГц и 25 кВт соответственно. Выходными частями генераторов являются секционированные охлаждаемые водой индукторы. Каждый из них состоит из пяти одинаковых подсекций длиной около 100 мм. Индукторы изготовлены из прямоугольной медной трубки сечением 18×6 мм.



Р и с. 1. Схема кальцинатора

Для очистки внутренней поверхности рабочей камеры используется активатор из коррозионно-стойкой стали цилиндрической формы длиной 2,5 м, диаметром 120 мм, закрепленный карданным соединением с низкотемпературным фланцем. При вращении активатора происходит обдирка внутренней поверхности.

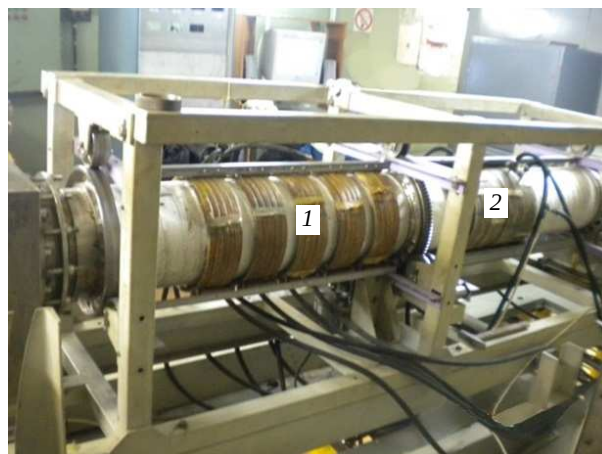
Узел газоочистки кальцинатора включает скруббер, емкости для щелочного раствора, насоса и вентилятора. Образующаяся в кальцинаторе парогазовая смесь подается в камеру смешения скруббера. В нее же с помощью центробежного электронасоса через форсунку впрыскивается 8%-ный раствор щелочи. После предварительной газоочистки в скруббере газ поступает в общую систему газоочистки предприятия.

Эксперименты по выпариванию воды из солевого раствора проводили при отсутствии зазоров между подсекциями индукторов и максимальной температуре в центре индукторов около 770 °С. На выходе собирался гранулированный материал, химический анализ которого показал частичную кальцинацию исходного продукта [3].

Следует отметить, что расчеты [2] показали снижение температуры в области среднего опорного кольца рабочей камеры кальцинатора. Эксперименты подтвердили наличие низкой до 150 °С температуры на внутренней стенке рабочей камеры в области среднего опорного кольца, в результате чего в некоторых случаях образовывался твердый осадок. Это создавало помехи в проведении экспериментов и затрудняло опытную эксплуатацию установки.

Во избежание налипания жидких отходов и для увеличения производительности кальцинатора в конструкцию индукторов были внесены изменения, разработана и изготовлена система крепления их подсекций. Основным элементом крепления является специальная струбцина из текстолита. Каждая подсекция индуктора крепится тремя струбцинами. Подсекции расположены на расстоянии 40 мм одна от другой. Индукторы начальной и второй высокотемпературной частей кальцинатора сближены на минимально возможное расстояние (рис. 2).

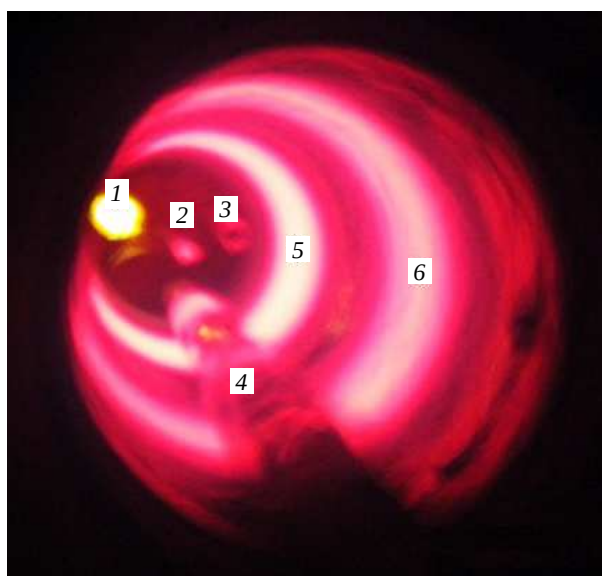
Модернизация позволила получить более плавный температурный профиль вдоль рабочей камеры, увеличить время нахождения жидких отходов в зоне испарения свободной и связанной воды, значительно повысить за счет сближения индукторов температуру внутренней поверхности кальцинатора в месте подачи крутящего момента, что предотвратило налипание рабочего вещества на стенках. Во время испытания кальцинатора в качестве рабочего вещества использовали имитатор жидких отходов с концентрацией



Р и с. 2. Внешний вид кальцинатора: 1 — низкотемпературный участок рабочей камеры с секционированным индуктором; 2 — высокотемпературный участок рабочей камеры

солей 20—150 г/л, содержащих до 80% нитратов. Варьируемыми параметрами установки являлись мощность генераторов, частота вращения и угол наклона рабочей камеры.

На рис. 3 показан вид разогретой внутренней части рабочей камеры со стороны приемного блока кальцинатора. На заднем плане виден яркий блик от смотрового окна первой части рабочей камеры 1, светящиеся концы термопары 2 и трубки подачи рабочего вещества 3. В рабочей камере находится активатор 4 с температурным профилем, повторяющим распределение температуры вдоль трубы. Наиболее яркие участки стенки 5, 6 соответствуют расположению индукторов. Свечение внутренней поверхности наблюдали при 600—650 °С. Мощность каждого генератора при этом составляла 15 кВт.



Р и с. 3. Вид изнутри разогретой рабочей камеры кальцинатора

В процессе обработки имитатора жидких отходов температура рабочей камеры в зоне испарения составляла от 390 °С в области первой подсекции индуктора первой секции до 530 °С в области третьей подсекции. Далее наблюдали ее снижение до 370 °С в области среднего опорного кольца и дальнейшее повышение до 650 °С в области середины индуктора второй секции. Высокая температура первой секции кальцинатора способствовала интенсивному обезвреживанию имитатора. Достигая области среднего опорного кольца, имитатор терял большую часть влаги, температура 370 °С обеспечивала как начальную стадию денитрации рабочего вещества, так и отсутствие застывания и инкрустации нитрита и нитрата натрия на стенке рабочей камеры. Дальнейшая кальцинация происходила в высокотемпературной второй части кальцинатора.

На выходе кальцинатора были получены гранулы желтовато-белого цвета, как правило, овальной формы характерным размером 1—3 см. При угле наклона рабочей камеры 1° и частоте вращения 30 об./мин степень кальцинации имитатора жидких отходов для разных образцов составляла 70—80% при производительности 50 л/ч.

Основным преимуществом рассматриваемого кальцинатора является индукционный метод нагрева рабочей камеры. Нагревательная система является компактной, надежной и удобной в управлении. Энергия электромагнитного поля выделяется непосредственно в корпусе рабочей камеры установки, поэтому индукционный нагреватель может создавать большую удельную плотность теплового потока в

рабочем объеме по сравнению с другими методами нагрева. Коэффициент передачи высокочастотной мощности в рабочую камеру высок и составляет 85—90%. Нагревательное устройство располагается вне рабочей камеры, что обеспечивает чистоту индуктора в процессе эксплуатации кальцинатора, а также простоту регулирования температуры стенки рабочей камеры.

Опытная эксплуатация показала, что сравнительная простота конструкции, а также использование серийных генераторов обеспечивают долговременную надежную работу кальцинатора. Эксперименты подтвердили правильность выработанных технических решений и возможность использования установки для выпаривания и кальцинации жидких отходов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Никифоров А.С., Куличенко В.В., Жихарев М.И. Обезвреживание жидких радиоактивных отходов. М.: Энергоатомиздат, 1985.
2. Дмитриев М.С., Дмитриев С.А., Кобелев А.П. и др. Экспериментальный роторный индукционный кальцинатор для переработки жидких радиоактивных отходов. — Изв. Академии наук. Энергетика, 2008, № 2, с. 71—79.
3. Диденко А.Н., Дмитриев М.С., Дмитриев С.А. и др. Современные методы переработки жидких радиоактивных отходов с использованием электромагнитного излучения. — Ядерная физика и инжиниринг, 2010, т. 1, № 1, с. 47—55.

Поступило в Редакцию 12.05.15

УДК 621.039.587

ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ УПЛОТНИТЕЛЬНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ГЛАВНОГО РАЗЪЕМА ВОДО-ВОДЯНОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО РЕАКТОРА

*Малеев М.А., Панчев А.М., Кудрявцев Е.М., Мартыненко С.П., Мартыненко С.С.
(НИЯУ МИФИ, г. Москва)*

Нарушение герметичности главного разъема реактора может привести к аварии с выходом радиоактивного теплоносителя за пределы реакторной установки с возможным последующим коррозионным повреждением и разрушением элементов конструкции. Работа с нарушением герметичности разъемных соединений не допускается [1]. В частности, при раз-

герметизации главного разъема срабатывает аварийная защита, и реакторная установка блокируется. Для обеспечения герметичности главного разъема реактора в месте контакта фланцев крышки и корпуса реактора в специальных уплотнительных канавках последнего размещают две никелевые проволоочные прокладки. Герметичность соединения обеспечивает-