

УДК 621.039.7

DOI 10.53403/9785951505170_2021_26_2_176

Новые технологии кондиционирования жидких радиоактивных отходов

**Н. Т. Казаковский, В. А. Королев,
А. А. Юхимчук**

Рассмотрены пути комплексного решения проблемы переработки и перевода в твердое безопасное состояние жидких радиоактивных отходов (ЖРО), содержащих тритий, которые образуются при работе с радиоактивными материалами в научных лабораториях и на производствах. Представлена технология эффективного выделения дисперсной фазы из двухфазных систем, в т. ч. коллоидных растворов, без использования фильтров и химических сорбентов. Описаны вновь применяемые материалы и технологии для отверждения водных и органических ЖРО.

Введение

При проведении практических работ по изучению тритидов различных материалов образуются радиоактивные отходы (РАО). В тех случаях, когда это происходит в исследовательских лабораториях, приходится накапливать РАО и хранить до передачи в специализированные организации. В соответствии с требованиями по обращению с РАО, наибольшую опасность представляют ЖРО. В связи с этим, актуальны способы перевода ЖРО в стабильное, безопасное состояние на месте их образования.

Фракционное разделение радиоактивных отходов

Несмотря на поступательное развитие безмасляных систем создания вакуума, продолжается широкое использование масляных вакуумных насосов различных типов. Этот факт объясняется высокой технической и экономической эффективностью данного оборудования (низкая начальная стоимость, надежность, ремонтпригодность, длительный срок эксплуатации).

При работе с мелкодисперсными порошками тритидов на вакуумных установках происходят попадание мелких частиц в насос и оседание в вакуумном масле. В таких случаях масло теря-

ет свои эксплуатационные свойства и необходимо провести его замену [1]. Однако, основная часть радионуклида будет сконцентрирована в твердой нерастворимой фракции, а доля трития, попавшего в структуру масла, в результате изотопного обмена, часто бывает незначительна. Для очистки масла и вывода его из состава РАО во многих случаях достаточно выделить твердые радиоактивные нерастворимые компоненты. Такие действия позволяют существенно снизить конечное количество РАО. Для решения этой проблемы предложен способ [2], согласно которому в загрязненное масло добавляют небольшое количество дистиллированной воды. Затем полученную систему обрабатывают на центрифуге. Под действием центробежной силы несмешивающиеся жидкости – масло и вода – разделяются. Разделение дисперсной системы проводилось на лабораторной центрифуге Hettich Rotofix 32A с использованием ротора затухания на четыре подвески при частоте вращения ротора 4000 об/мин. Относительное ускорение центрифуги при проведении исследований в верхнем слое масла составляло $\bar{a}_{\min} = 769$, а на границе раздела фаз жидкостей $\bar{a}_{\text{fas}} = 2647$.

Нерастворимая твердая фракция переходит через границу раздела фаз двух жидкостей и концентрируется в донной части. Если далее охладить систему до перехода воды в твердое состояние, то масло можно легко отделить, заменить новой партией загрязненного масла и повторить процесс. Так можно из большого объема масла выделить твердые радиоактивные компоненты в небольшой объем воды. Далее воду можно выпарить или смешать с отвердителем.

Были проведены макетные эксперименты по выделению из чистого вакуумного масла предварительно добавленных порошков алюминия (дисперсностью 2,96–14,10 мкм) и оксида магния (дисперсностью 0,60–6,51 мкм). В пробу масла объемом 50 мл добавляли навеску порошка массой 0,1 г. Для лучшего распределения порошка по объему масла полученный образец перемешивали с помощью миксера в течение 10 мин со скоростью вращения мешалки 850 об/мин.

Степень выделения твердой фазы контролировали по изменению коэффициента пропускания светового потока, проходящего через образец. Измерения проводились на фотоэлектрическом фотометре при длине волны $\lambda = 540 \pm 2$ нм в сравнении с исходным эталоном. При проведении измерений использовались прямоугольные кюветы с рабочей длиной 20 мм. Абсолютная погрешность измерений коэффициента пропускания составляла $\pm 0,2$ %. Перед проведением кинетических экспериментов определялся коэффициент пропускания свежеизготовленного макетного образца.

На первом этапе исследований проведено центрифугирование макетной смеси масла и порошка алюминия при скоростях вращения ротора центрифуги 2000 и 4000 об/мин. Результаты представлены на рис. 1. Приведенные результаты показывают, что частота вращения ротора (относительное ускорение) является существенным фактором, определяющим кинетику процесса. По этой причине дальнейшие исследования проводились при максимальной скорости вращения ротора центрифуги данного типа – 4000 об/мин.

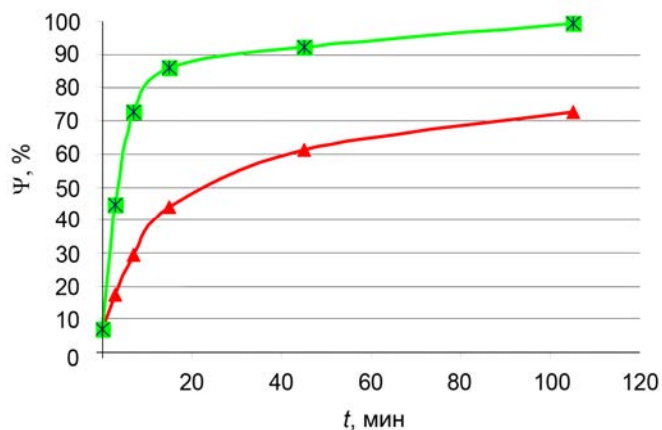


Рис. 1. Изменение коэффициента пропускания светового потока Ψ (%) в зависимости от времени центрифугирования t (мин) при различных скоростях вращения ротора: ▲ – 2000 об/мин, ✕ – 4000 об/мин

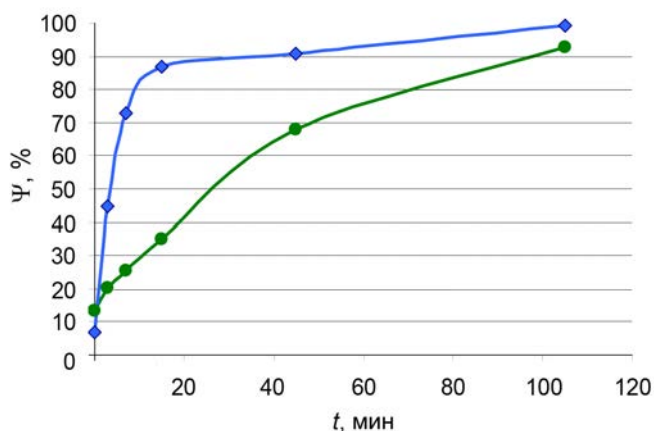


Рис. 2. Изменение коэффициента пропускания светового потока Ψ (%) в зависимости от времени центрифугирования t (мин) для порошков Al и MgO: ● – MgO, ◆ – Al

Динамика выделения различных порошков из подготовленных макетных образцов показана на рис. 2. Как видно из приведенных данных, быстрее осаждается порошок алюминия. Коэффициент пропускания светового потока составляет 90 % от этой же величины для чистого масла уже через 40 мин центрифугирования. Очевидные различия в кинетике выделения состоят в том, что порошок алюминия имеет больший размер частиц. Оксид магния является более мелкодисперсным. По этой причине скорость выделения дисперсной фазы при центрифугировании ниже. В целом, можно заметить, что степень очистки превышает 90 % за 105 мин проведения центрифугирования.

Отверждение органических жидких радиоактивных отходов

В органических жидкостях тритий может находиться в связанном состоянии и его извлечение крайне затруднительно. Основной способ переработки органических ЖРО – сжигание, для чего требуются специальные установки. Для безопасного хранения или транспортировки таких ЖРО в лабораторных условиях предложен к использованию способ перевода их в твердое состояние [3]. Для этого ЖРО смешивают со смесью предельных углеводородов: парафина, стеариновой кислоты и церезина. Данный отвердитель после перехода в жидкое состояние при 70 °С хорошо смешивается с вакуумным маслом и другими органическими веществами, а после затвердевания образует твердый, гомогенный, гидрофобный компаунд, обеспечивающий безопасное хранение. Наполнение конечного компаунда составляет до 60 % от массы. Использование данной смеси возможно для отверждения нефтяных масел и органических растворителей (сольвент, ксилол, керосин, уайт-спирит, бензин). Для обеспечения наибольшей безопасности и сокращения времени обращения с ЖРО в лаборатории используется металлический контейнер с заранее подготовленным отвердителем, а ЖРО добавляется порциями, по мере образования. После добавления очередной порции ЖРО контейнер нагревают до 70 °С и расплавляют содержимого, а затем охлаждают. Далее контейнер с отвержденными РАО может в течение длительного времени храниться безопасно для персонала и окружающей среды. Процесс добавления порций ЖРО можно продолжать до момента полного насыщения смеси отвердителя, который контролируется путем измерения массы контейнера с конечным компаундом.

Выводы

Предложенные способы позволяют переводить ЖРО, содержащие тритий, в безопасное состояние на месте их образования без привлечения специализированных организаций. Проведение мероприятий по отверждению ЖРО силами организации, в результате деятельности которой они образовались, сокращает время обращения персонала с радиоактивными компонентами и экономические вложения, а также позволяет:

- сократить объем РАО;
- проводить выделение твердых нерастворимых частиц РАО без использования фильтров, с последующей их фиксацией;
- использовать технологии в условиях исследовательской лаборатории;
- избежать образования вторичных РАО.

На всех стадиях работ по лабораторной отработке представленных технологий проводился постоянный контроль содержания трития в воздухе рабочего помещения и вытяжной вентиляции. Полученные данные радиометрического контроля показали безопасность предложенных способов для обслуживающего персонала и окружающей среды.

Список литературы

1. Kazakovsky N. T., Korolev V. A. Specifics of Oil Vacuum Pumps Operation in Handling Radioactive Materials // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Institute of Physics Publishing. 2018. Vol. 387.
2. Пат. RU2637811, G21F9/16. Способ переработки жидких радиоактивных отходов / Н. Т. Казаковский, В. А. Королев // Бюллетень. 2017. № 34.
3. Пат. RU 2654542, G21F9/16. Способ отверждения органических жидких радиоактивных отходов / Н. Т. Казаковский, В. А. Королев // Там же. 2018. № 15.

New Technologies of Liquid Radioactive Waste Conditioning

N. T. Kazakovsky, V. A. Korolev, A. A. Yukhimchuk

The paper considers integrated ways to solve the problem of processing and converting liquid radioactive wastes containing tritium into solid safe state. These wastes are formed when working with radioactive materials in scientific laboratories and in industrial establishments. The technology of efficient separation of the dispersed phase from two-phase system including colloidal solutions without filters and chemical sorbents is presented. The newly applied technologies for curing liquid (aqueous and organic) radioactive wastes are described.