

ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛИМЕРОВ В ПРОЦЕССАХ ИММОБИЛИЗАЦИИ ЖИДКИХ ОРГАНИЧЕСКИХ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ

Ю. А. Похитонов

АО «Радиевый институт им. В. Г. Хлопина», Санкт Петербург

Статья поступила в редакцию 9 июля 2019 г.

В статье приведен обзор методов переработки жидких органических радиоактивных отходов. Отмечены достоинства и недостатки сжигания, цементирования и других методов. Представлены результаты исследовательских работ, выполненных в АО «Радиевый институт им. В. Г. Хлопина», по использованию полимерных материалов для переработки жидких органических радиоактивных отходов. Преимущества применения для этих целей полимерных материалов заключаются в использовании простого оборудования, минимального числа технологических операций и возможности иммобилизации жидких органических радиоактивных отходов в полимерный материал для последующего сжигания (пиролиза).

Ключевые слова: радиоактивные отходы, жидкие органические радиоактивные отходы, иммобилизация жидких органических радиоактивных отходов, полимерные материалы.

Введение

Проблема иммобилизации жидких органических отходов заслуживает особого внимания по целому ряду причин. По сравнению с другими радиоактивными отходами объем образующихся органических отходов значительно меньше, тем не менее для безопасного обращения с ними требуются специальные технологии, которые, как правило, несовместимы с известными методами переработки водных растворов.

Жидкие органические радиоактивные отходы образуются на многих предприятиях ядерного топливного цикла, в центрах ядерных исследований, а также при использовании радиоизотопов в медицине. К наиболее типичным органическим отходам относятся: смазки, используемые при эксплуатации АЭС, разбавители в процессах регенерации облученного топлива,

сцинтилляционные жидкости из аналитических лабораторий и ряд других.

Отходы радиоактивных масел, образующиеся на АЭС, поступают из насосов теплоносителя первого контура и турбин. Обычно это низкоактивные отходы (НАО) с содержанием небольших количеств радионуклидов, преимущественно таких, как ^{137}Cs , ^{134}Cs , ^{58}Co , ^{60}Co , ^{65}Zn и др. Пожалуй, вторым значимым источником органических ЖРО является трибутилфосфат (ТБФ) и его смеси с углеводородным растворителем, используемые в технологии переработки облученного топлива. Под воздействием облучения экстракционные качества компонентов снижаются, после ряда циклов экстрагент считается непригодным к использованию и представляет собой отходы среднего уровня активности (САО). Эти

отходы могут содержать уран, плутоний и продукты деления.

В качестве источника органических ЖРО следует также упомянуть органические дезактивационные жидкости, образующиеся при различных процедурах, и сцинтилляционные жидкости. Последние используются для радиохимического анализа и состоят из трехкомпонентной смеси растворенного вещества (сорбата), растворителя и исследуемого образца (пробы).

Одним из вариантов обращения с органическими радиоактивными отходами является их долговременное хранение, но это приводит к ряду проблем как экологических, так и экономических. Кроме того, при хранении органические отходы могут разлагаться с выделением радиолитических газов и представлять собой источник пожароопасности. Определение метода переработки таких отходов в каждом конкретном случае требует тщательного анализа с последующим выбором наиболее дешевого способа их ликвидации.

Критерии, применяемые при выборе способов обработки органических радиоактивных отходов, определяются экономикой процесса переработки (или хранения), стремлением сократить объем и сложностью используемой технологии и оборудования. Влияние какого-либо одного или всех критериев на выбор метода обработки может быть оригинальным для каждого отдельного производителя отходов и условий долговременного хранения или захоронения.

Проведенный анализ и результаты экспериментов позволяют сделать вывод, что одним из перспективных методов обращения с органическими жидкими отходами является их отверждение с использованием полимерных материалов. Логика развития тех или иных технологий часто обусловлена стремлением переработать как можно больший объем отходов. Мы не рассчитываем, что использование полимеров поменяет сложившуюся практику коренным образом. В то же время во многих случаях именно использование полимерных материалов может быть альтернативой и поможет решить частные проблемы, возникающие на различных предприятиях.

Технологии обращения с жидкими органическими отходами

Прежде чем говорить о применении собственно полимерных материалов, остановимся на описании наиболее широко используемых процессов переработки жидких органических радиоактивных отходов.

Сжигание радиоактивных отходов — это, несомненно, хорошо развитая, хотя и достаточно сложная технология. Привлекательность процесса сжигания объясняется горючестью органических отходов и возможностью достижения высоких коэффициентов сокращения их объема. Но не будем забывать, что сам по себе процесс сжигания является лишь частью сложной системы переработки отходов. В зависимости от активности зольного остатка, он может быть просто упакован или подвергнут дальнейшей обработке с целью иммобилизации в более удобную форму для хранения и/или захоронения.

Одним из самых ранних примеров промышленного использования процесса сжигания можно назвать создание установки на заводе в Карлсруэ (Германия) в 1977 году [1–3]. На установку для сжигания подавался поток органических жидких отходов следующего состава: 40% масла, 34% растворителя, 10% сцинтилляционной жидкости и 16% воды. За первые 5 лет эксплуатации установки было переработано 360 м³ отходов.

В Кадараше (Франция) была создана установка для сжигания масла, хлорсодержащих растворителей, сцинтилляционных жидкостей и ТБФ. Были достигнуты коэффициенты сокращения объема от 30 до 300 [1, 2]. В процессе работы 95% активной золы захватывалось фильтрами, а 5% оставалось в печи.

В Роки Флэтс (США) проходила испытания печь с псевдоожиженным слоем [4, 5]. Установка была спроектирована для переработки отходов, содержащих плутоний. На сжигание подавали органические жидкие отходы, состоящие из ТБФ, отработанных масел и смесей растворителей. В ходе испытаний были отмечены проблемы, связанные с закупоркой сопел вследствие неравномерного прогрева.

Многолетний опыт эксплуатации установок по сжиганию отходов накоплен в ГУП МосНПО «Радон». В основе установки сжигания лежит двухкамерная печь. В одной камере происходит сжигание отходов на колосниковой решетке, а в другой — осаждение и дожиг крупнодисперсных фракций аэрозолей. Дымовые газы очищают в системе сухого типа, включающей охлаждение, грубую и тонкую фильтрацию газов. Производительность печи составляет 80 кг/ч, температура в камере сжигания — 900–950 °С, удельный расход жидкого топлива — до 0,25 кг на 1 кг отходов, коэффициент сокращения объема — 30–100.

К недостаткам метода следует отнести получение нескольких типов продуктов переработки (зола, сажа, конденсат, отходящие газы). Эти вторичные отходы необходимо кондиционировать,

для чего обычно используют цементирование. Отметим, что любая технология подготовки отходов к окончательной изоляции предполагает, помимо переработки, проведение их кондиционирования, и наиболее часто в роли матричного материала рассматриваются стекло или цементный компаунд.

В последнее время большое внимание уделяется способам обезвреживания жидких органических радиоактивных смесей путем каталитического окисления до газообразных и твердых соединений. В работе [6] было изучено окисление органических отходов, содержащих трибутилфосфат (ТБФ).

Проведенные эксперименты показали, что наибольшую активность из 10 синтезированных катализаторов показал лантан-кобальтовый катализатор. Конверсия ТБФ при 170 °С составила 80%. Как показывает мировая практика, термокаталитический способ постоянно совершенствуется в направлении использования новых катализаторов (не содержащих драгоценных металлов) и оптимизации аппаратурного оформления.

Если говорить об использовании сжигания на промышленных предприятиях, то наиболее перспективным вариантом является совмещение сжигания органических отходов с высокотемпературным процессом остекловывания. Очевидно, что в этом случае не надо создавать отдельных установок, а можно использовать уже имеющиеся на предприятии.

Примером такого подхода является способ, описанный в патенте [7]. В аппарат, где находится алюмофосфатный расплав остеклованных радиоактивных отходов, подают радиоактивную смесь трибутилфосфата и *n*-парафинов. (температура расплава 800–1200 °С). Одновременно в зону сжигания вводят окислитель (кислород), и в результате реакции окисления органических веществ образуются водяные пары, газообразные оксиды углерода и твердая фаза, содержащая преимущественно оксиды фосфора и большую часть радионуклидов. При этом оксиды фосфора от сжигания ТБФ практически нацело (88–100%) вплавляются в алюмофосфатное стекло.

В работе [8] приведено описание технологического процесса минерализации органических отходов, главным образом остатков, образующихся при дистилляционной очистке экстрагента (ТБФ). Процесс начинается с подготовки отходов путем корректировки состава, смешивания с $Mg(OH)_2$ и эмульгирования смеси. Далее, благодаря пиролизу ТБФ и испарению воды, проходит минерализация в реакторе и, наконец,

образование осадка фосфата магния. Образовавшийся зольный остаток цементируется.

Процедура сжигания и пиролиза, несомненно, имеет массу привлекательных моментов, но прежде всего — значительное сокращение объема отходов. В качестве недостатка отметим довольно сложное оборудование. Помимо самих печей, в состав установок могут входить дожигатели, теплообменники, система подачи холодного воздуха, фильтры, газопромыватели и пылеуловители. Таким образом, выбор данной технологии требует больших капитальных вложений и затрат на эксплуатацию и обслуживание. Но даже при хорошо разработанной технологии могут возникать проблемы с неполным сгоранием, коррозией деталей и очисткой отходящих газов.

Любое решение об использовании или отказе от сжигания органических радиоактивных отходов, вероятно, должно зависеть от конкретной экономики каждого отдельно взятого сценария хранения/размещения отходов. С другой стороны, если затраты на хранение отходов настолько велики, что процедура сокращения объема оказывается привлекательной, можно, несмотря на высокие затраты, выбрать процесс сжигания в качестве предпочтительного варианта.

Среди других способов переработки органических жидких отходов следует упомянуть процессы «мокрого» окисления, адсорбции и цементирования. Работы по исследованию процесса «мокрого» окисления проводились в Японии с целью разложения низкоактивных органических отходов (растворителей). Описан вариант этого процесса, в котором переработка отходов происходит при 100 °С и атмосферном давлении, с использованием медного катализатора и перекиси водорода [9, 10]. Поскольку «влажное» окисление предполагает строгий контроль химических реакций при высоких температурах, можно только предположить, что для применения данного процесса в промышленном масштабе потребуются создание сложной системы управления и очистки технологической воды.

Использование процесса сорбции органических отходов представляется достаточно простым решением и применяется на практике во многих областях. Существует множество абсорбентов, от очень простых (типа опилок) до достаточно сложных (алкилстирольные полимеры). Увеличение объема отходов при использовании абсорбентов может достигать 300%. Пригодность одних только абсорбентов в качестве отвердителей для жидких органических отходов невелика; их эффективность заметно снижается

в присутствии воды или других ионных примесей, а изменение вязкости может стать причиной значительного уменьшения количества поглощенной жидкости.

Говоря о процессе цементирования, прежде всего отмечаем, что сам по себе портландцемент неэффективен для отверждения каких-либо жидких органических отходов. Как правило, только порядка 12% (об.) масла может быть заключено в цемент с образованием твердого конечного продукта, имеющего приемлемую прочность на сжатие. Однако величину наполнения отходами можно заметно повысить с помощью введения подходящих увлажняющих агентов. Лабораторные исследования по цементированию жидких органических отходов проводились в Брукхевенской национальной лаборатории [11], и известны несколько промышленных вариантов этого процесса. Метод Энвиростоун предполагает использование запатентованного гипсоцемента с добавкой полимера и специального эмульгатора для включения органической жидкости в эмульсию [11]. В данном процессе проводится перемешивание жидких органических отходов с эмульгатором и затем добавляется гипсоцемент. Ингредиенты перемешивают до образования однородной массы, которую разливают по контейнерам, где и происходит затвердевание. При использовании таких технологий удастся получить твердые формы отходов с наполнением органическими ингредиентами на уровне 30–50% от объема.

Аналогичные работы проводилась в Хэнфорде для отверждения насосных масел, минеральных спиртов и смеси ТБФ с растворителями [12].

В ГУП МосНПО «Радон» разработан комплексный метод цементирования радиоактивного масла и создан дополнительный модуль к существующей опытно-промышленной установке для его подготовки к цементированию. Устройство модуля позволяет приготовить суспензию из жидких неорганических радиоактивных отходов (ЖРО), перерабатываемых радиоактивных масел и порошковой добавки, что позволяет равномерно распределить органические компоненты в затвердевшем цементном компаунде. Подготовленное радиоактивное масло в виде однородной суспензии подается на установку цементирования. В суспензию предлагается вводить комплексную добавку («Бизон»), содержащую бентонит, тонкомолотый быстротвердеющий цемент и микробиологическую защиту компаунда [13].

Проведенные опытно-промышленные испытания показали, что содержание масла в компаунде

может быть доведено до 15–20% без ухудшения технологических свойств конечного цементного компаунда [14].

При обработке жидких органических отходов можно использовать совмещение процессов абсорбции и цементирования. При этом жидкие органические отходы вместо того, чтобы превращаться в эмульсию, поглощаются адсорбентом с образованием твердого вещества, которое затем можно включить в цемент.

Полученные формы могут содержать органические отходы в количестве до 56% объема. Обычной процедурой является насыщение адсорбента органической жидкостью с последующим смешиванием с цементом и необходимым для гидратации цемента количеством воды. Если органические отходы уже содержат воду, то ее добавление может не потребоваться. Однако если количества воды недостаточно для нормальной гидратации цемента, полученный продукт будет иметь низкую прочность. Несмотря на преимущество данной технологии, позволяющей достигать повышенной загрузки отходов, ее недостатком является необходимость перевода жидкости в твердое состояние до добавления отверждающей основы.

Следует также подчеркнуть, что ни один из рассмотренных выше процессов не обладает универсальностью, то есть невозможно использовать однотипное оборудование и одни и те же процессы для переработки всех видов органических жидких радиоактивных отходов.

Опыт использования полимерных материалов для переработки жидких органических отходов

Использование полимеров в технологии переработки радиоактивных отходов было подробно описано в техническом обзоре МАГАТЭ [15], но по ряду причин им не уделялось должного внимания. Среди этих причин прежде всего следует назвать успешное внедрение в промышленном масштабе процесса цементирования.

В данном разделе приведено описание процессов обращения с жидкими органическими радиоактивными отходами, в которых так или иначе используются полимеры различного состава [15–18].

Примеры использования полиэтилена в процессе иммобилизации отходов на АЭС приведены в работах [19–22].

Процесс с применением полиэфирных смол был разработан в центре ядерных исследований в Гренобле (СЕА) [23] и в промышленном масштабе применялся для переработки отходов

Аденской АЭС. Позднее технология была передана в Японию [24]. Технологию модифицировали с целью отверждения концентрированных отходов и отработанных ионообменных смол площадки №2 АЭС Фукусима. Аналогичный процесс был также самостоятельно разработан фирмой «Тошиба» и несколькими японскими компаниями [25].

Был разработан процесс иммобилизации отходов с использованием ненасыщенных полиэфиров, получивший название «IREP» [26]. Процесс был основан на получении эмульсии отходов с ненасыщенным полиэфиром и использовался для иммобилизации среднеактивных отходов (концентратов выпарной установки, а также осадков и ионообменных смол). Аналогичные технологии были исследованы в Канаде [27] и в США для отверждения отходов атомных электростанций (Доу-процесс [28]).

Для успешного протекания процесса необходимо формирование эмульсии «масло в воде», которая затем медленно при перемешивании вводится в полиэфирный полимер для образования вторичной эмульсии. Отверждение проводят с помощью добавления катализатора. Процесс применялся для отверждения концентратов выпарных установок, ионообменных смол и растворов после дезактивации. Он был адаптирован и для использования в Европе [29]. Но дальнейшие исследования были прекращены, после того как выяснилось, что при загрузке отходов свыше 5% эмульсия с отходами в полиэфирном полимере разрушается, препятствуя затвердеванию продукта.

Рассматривая другие использованные полимерные материалы, остановимся на мочевиноформальдегидной смоле (МФ-смола). Вязкая эмульсия мочевины и формальдегида полностью смешивается с водой, но не поддается смешиванию с неполярными растворителями. При добавлении кислотного катализатора, вследствие процесса конденсации, происходит образование поперечных связей. В процессе полимеризации матрица захватывает побочную воду. Для стимуляции процесса обычно используется водный раствор бисульфата натрия.

МФ-смолы не вступают в химические реакции с отходами, они полимеризуются в микроструктуру, подобную сотовым ячейкам, в пустотах которых и происходит изоляция отходов. Объем полученного продукта представляет собой сумму объемов отходов и МФ-смолы. Жидкие радиоактивные отходы смешиваются с реагентами, которые способны создавать твердые продукты, в результате чего образуются химически устойчивые продукты.

Недостатком способа являются ограничения по химическому составу отходов, которые могут быть переработаны (данный способ неприменим к растворам с высокой кислотностью и к некоторым другим типам отходов, которые трудно смешать с МФ-смолами).

В 1970–1980 годах МФ-смолы были основным отверждающим реагентом, используемым в США для изоляции отходов, таких как обезвоженные осадки с фильтров и отработанные смолы с установок деминерализации. Однако, в связи с изменением нормативов в отношении присутствия свободной жидкости в упаковках, они были сняты с производства, поскольку количество жидкости в конечном продукте превышало допустимые правилами значения [15].

Мобильная установка для иммобилизации отработанных ионообменных смол с помощью стирол-дивинилбензолной смеси была разработана в ФРГ [30]. Позднее такие установки использовались в различных странах [31].

Поливинилхлорид (ПВХ) применялся в качестве средства для иммобилизации отработанных экстрагентов (ТБФ в керосине) на заводе WAK в ФРГ с 1971 по 1980 г. [15]. ТБФ предположительно воздействует на ПВХ как пластификатор. При диффузии ТБФ в гранулы ПВХ образуется твердый продукт с механическими свойствами, характерными для резины (плотность продукта примерно $1,12 \text{ г/см}^3$). Вмещающая способность ПВХ с высоким молекулярным весом выше, чем у поливинилхлоридов с более низкими молекулярными весами, которые, однако, легче смешиваются при комнатной температуре и быстрее поглощают ТБФ.

Достаточно давно в Швеции был разработан процесс для отверждения всех типов отходов АЭС и отработанных ионообменных смол с использованием полиуретана [15–18]. Предлагалось использование углеводородных масел в качестве недорогих добавок к полиуретану, но коммерческого применения этот метод не получил.

Ряд исследований по использованию полимеров для иммобилизации жидких органических радиоактивных растворов был проведен и в России [32]. Проводились эксперименты по отверждению отработанных экстрагентов и «грязного» машинного масла с использованием диенового сополимера. Полученные экспериментальные результаты показали высокую эффективность использованных полимеров при иммобилизации ЖРО сложного состава. При отверждении отработавшего масла (эмульсий) скорость выщелачивания трития из образцов составила 10^{-3} – $10^{-4} \text{ г/см}^2\cdot\text{сут}$. Скорость

выщелачивания радионуклидов цезия и америция в проведенных экспериментах оказалась на уровне 10^{-5} – 10^{-6} г/см²·сут.

Результаты по отверждению органических ЖРО с использованием полимерных и цементных матриц приведены в работе [33]. По мнению авторов, несмотря на значительное увеличение объема конечного продукта, подлежащего хранению, иммобилизация с использованием полимерной матрицы может быть приемлемой, принимая во внимание повышение экологической безопасности и сравнительно небольшие объемы ОЖРО, образующиеся на предприятиях.

Сравнительно недавно был разработан новый класс полимерных материалов (корпорация «Nochar», США), и за последние 15–20 лет проведены работы по использованию этих полимеров для иммобилизации жидких радиоактивных отходов, в том числе и органических [34–37].

В ходе работ было показано, что применение полимеров возможно для связывания органической жидкости с получением конечного продукта в виде мягкого пористого резиноподобного материала. Данный продукт может быть направлен на долговременное хранение или включен в цементную матрицу.

Результаты экспериментов с использованием полимеров «Nochar»

Для отверждения органических отходов использовали полимер Nochar PetroBond № 910. Если жидкие отходы, помимо органических жидкостей, содержат водную фазу, то для отверждения всей массы жидких отходов использовали комбинацию различных полимерных материалов (№ 910, № 960).

Для опытов были использованы отходы цеха дезактивации и отходы из лабораторий (табл. 1). Внешний вид образцов после отверждения представлен на рис. 1.

Таблица 1. Перечень отходов, использованных в экспериментах

Наименование продукта	Удельная активность
Вакуумное масло	анализ не проводился.
Органический осадок из бака-накопителя ЖРО	$A_{\Sigma\alpha} - 6,6 \cdot 10^6$ Бк/л, $A_{\Sigma\beta} - 1,1 \cdot 10^7$ Бк/л
Жидкий сцинтиллятор (ЖС-8), содержащий тритиевую воду	анализ не проводился
30% ТБФ в углеводородном разбавителе	$A_{\Sigma\beta} - 1,8 \cdot 10^7$ Бк/л
Органические сливы лабораторий. Присутствует водная фаза (от 3 до 10%)	$AA_{\Sigma\beta} - 3,6 \cdot 10^6$ Бк/л

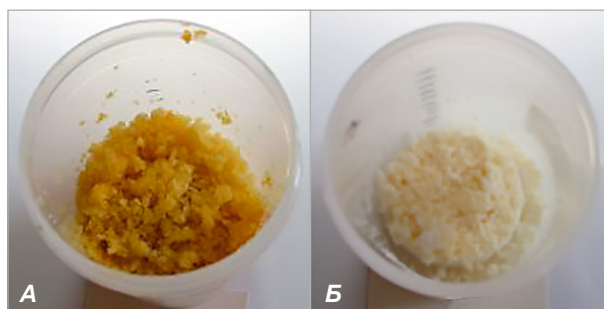


Рис. 1. Внешний вид образца после отверждения вакуумного масла (А) и образца после отверждения отработавшего сцинтиллятора (Б). Использовался полимер № 910, отношение массы полимера к массе жидкости (Т:Ж) – 1:5

Введение полимеров в емкость с жидкими отходами проводили при перемешивании или полимерный материал просто пропитывали раствором. Следует заметить, что процесс отверждения можно проводить и непосредственно в емкостях, в которых содержатся перерабатываемые отходы и которые далее играют роль транспортного контейнера для последующего вывоза отходов с территории института.

Помимо экспериментов с растворами, составы которых приведены в табл. 1, было отверждено около 25 литров органических жидких отходов неизвестного состава с высокой удельной активностью. Эти мероприятия носили чисто утилитарный характер с целью освобождения ремонтных зон «горячих» камер от скопившихся растворов, которые не могут быть переданы на переработку с использованием процесса цементирования.

Операция дополнительной изоляции отвержденных отходов заключалась в смешении полученных композиций с раствором цемента. В полипропиленовые контейнеры помещали отвержденные отходы и заливали раствором цемента.

По нашему мнению, представляет интерес разработка комплексной технологии, включающей отверждение органических (или смешанных водно-органических) радиоактивных отходов в полимерную матрицу и последующую высокотемпературную обработку отвержденных отходов [38].

В наших экспериментах в качестве альтернативы процессу сжигания была использована высокотемпературная обработка (карбонизация) в замкнутом объеме (диапазон температуры – 600–700 °С). Масса остатка после завершения процесса не превышает 5–15% от начального значения массы жидких отходов. Образовавшийся зольный остаток цементировался.

Из приведенных данных можно сделать заключение, что высокотехнологичные полимеры, предложенные компанией «Nochar», имеют широкий спектр применения при решении задач, связанных с иммобилизацией жидких органических отходов.

Заключение

Ни один из методов, используемых для переработки органических радиоактивных отходов, не имеет доминирующего превосходства над остальными. Выбор наиболее эффективной технологии требует предварительного анализа и оценки затрат, и только после этого — определения целесообразности применения тех или иных процессов.

Данный подход предполагает объективное сравнение вариантов, по которым выносятся решения, и главными предметами рассмотрения при этом являются экологические риски и стоимость реализации того или иного проекта с учетом последующих затрат на изоляцию конечных продуктов в хранилище.

Проведенные исследования позволяют сделать вывод, что отверждение органических отходов с использованием полимерных материалов является одним из перспективных направлений в переработке жидких органических отходов и заслуживает самого пристального внимания.

Литература

1. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. Options for the Treatment and Solidification of Organic Radioactive Waste. Technical Reports Series no. 294. IAEA, Vienna, 1989.
2. Dussoy J. L. Incineration of radioactive organic liquids. Incineration of Radioactive Waste (Proc. CEC Sem. Arnhem, 1984), Rep. CEC-EUR-9621, Graham and Trotman, London, 1985, pp. 97–103. (In French).
3. Assessment of Best Practicable Environmental Options (BPEOs) for Management of Low- and Intermediate-Level Solid Radioactive Wastes, HM Stationery Office, London, 1986.
4. Meile L. J., Meyer F. G., Johnson A. J., Ziegler D. L. Rocky Flats Plant Fluidized Bed Incinerator, Rep. RFP-3249, Rockwell International Corp., Golden, CO, 1982.
5. Meyer F. G., Johnson A. J., Day G. D., Watson L. E. Fluidized Bed Incineration of Nuclear Waste, Rep. RFP-3311, Rockwell International Corp., Golden, CO, 1983.
6. Карпенко В. И., Шушакова М. В., Ожерельев О. А. Технология каталитической переработки жидких радиоактивных органических отходов //

Известия Томского политехнического университета. 2005. Т. 308. № 3. С. 88–91.

7. Богданов А. Ф., Дзекун Е. Г., Корченкин К. К. и др. Способ обезвреживания жидких радиоактивных органических отходов, содержащих эфиры фосфорных кислот: Патент РФ № 2186433. Опубл. 27.07.2002, бюл. № 5.

8. The 5th International Nuclear Conf. on Recycling, Conditioning and Disposal — RECOD'98, Oct. 25–28 1998, France.

9. Sunagawa T., Yamakawa T., Shibata S., Obara K., Hoshiko K. Volume Reduction of Waste Solvent by Wet Oxidation Process, Rep. K2, Atomic Energy Society of Japan, Tokyo, 1985.

10. Oki S., et al. Volume reduction of flame-resisting radioactive wastes by a new wet oxidation process. Waste Management '84. Proc. Symp. Tucson, 1984. Arizona Univ., Tucson, AZ, 1984.

11. Clark D. E., Colombo P., Neilson R. M., Jr. Solidification of Oils and Organic Liquids. Rep. BNL-51612, Brookhaven National Lab., Upton, NY, 1982.

12. Greenhalgh W. O. Immobilization of Organic Liquid Wastes. Rep. HEDL-SA-3377-FP, Hanford Engineering Development Lab. Richmond, WA, 1985.

13. Варлаков А. П., Горбунова О. А., Невров Ю. В. и др. Способ цементирования жидких радиоактивных отходов, содержащих минеральные масла и/или органические жидкости, и устройство для его осуществления: Патент RU № 2317605. Опубл. 20.02.2008, бюл. № 5.

14. Горбунова О. А. Цементирование твердых радиоактивных отходов методом пропитки высокопроницаемыми растворами: Дисс. канд. техн. наук. М., ГУП МосНПО «Радон», 2004.

15. Management of Low and Intermediate Level Radioactive Wastes with Polymers. Technical Report Series No 289. International Atomic Energy Agency, Vienna, 1988.

16. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Management of Spent Ion-Exchange Resins from Nuclear Power Plants, IAEA-TECDOC-238, IAEA, Vienna, 1981.

17. Tassigny C. et al. Decisive progress in thermosetting resin embedding. ANS Winter Meeting, Washington, DC, 11–16 Nov. 1984.

18. Bennet B. et al. Conditioning options for Magnox fuel element debris. Radioactive Waste Management, British Nuclear Energy Society, London, 1984, pp. 117–127.

19. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Conditioning of Low- and Intermediate-Level Radioactive Wastes, Technical Reports Series no. 222, IAEA, Vienna, 1983.

20. Colombo P. et al. Polyethylene Solidification of Low-Level Wastes. Top. Rep. BNL-51867, Brookhaven National Laboratory, Upton, NY, 1984.

21. Hayase Y. et al. Solidification of radioactive wastes using thermoplastic resin. Conditioning of Radioactive Wastes for Storage and Disposal (Proc. Symp. Utrecht, 1982), IAEA, Vienna, 1983, p. 133.
22. Franz E. M. et al. Waste Form Evaluation Program. Final Report, Rep. BNL-51954, Brookhaven National Laboratory, Upton, NY, 1985.
23. Haller P. et al. Experience d'exploitation industrielle du poste d'enrobage des déchets radioactifs dans les résines thermodurcissables & la Centrale nucléaire des Ardennes. Conditioning of Radioactive Wastes for Storage and Disposal (Proc. Symp. Utrecht, 1982), IAEA, Vienna, 1983, p. 101.
24. Kuribayashi H. et al. Embedding of radioactive wastes in thennosetting resin matrix. ANS Winter Meeting, Washington, DC, 14–19 Nov. 1982.
25. Irie H. et al. Development of plastic solidification for LWR. Seminar on Management of Radioactive Waste, Taipei, 25–26 June 1983.
26. Hayashi M. et al. Solidification of radioactive wastes with thermosetting resin. Materials Research Society Annual Meeting on Scientific Basis for Nuclear Waste Management, Boston, MA, Nov. 1981.
27. Williamson A. S., Husain A. A plant for immobilizing low-level aqueous waste in water extendible polymer. ANS Int. Top. Mtg Niagara Falls, NY, Sep. 1986.
28. Filter H. E. The Dow System for Solidification of Low-Level Radioactive Waste from Nuclear Power Plants, Dow Chemical Co., Midland, MI, Oct. 1976.
29. Graves J. J. The chemical cleaning of Dresden Unit 1. Trans. Am. Nucl. Soc, 1978, no. 28, p. 131.
30. Ambros R. et al. Reactor waste management practices in the Federal Republic of Germany. On-Site Management of Power Reactor Wastes. (Proc. Symp. Zurich, 1979), OECD-NEA, Paris, 1980.
31. Vidal H. IAEA Technical Committee Meeting on Immobilization of Low and Intermediate Level Radioactive Wastes with Polymers, Rome, 14–18 April, 1986.
32. Похитонов Ю. А., Капустин В. К., Леонов В. В. и др. Результаты использования отечественных полимеров для отверждения радиоактивных масел и отработавших экстрагентов. Тезисы докладов на V Международном конгрессе химических технологий, 12–14 октября 2004 г.
33. Волкова Т. С., Слюнчев О. М., Бобров П. А., Тананаев И. Г. Способы обращения с органическими ЖРО // Вопросы радиационной безопасности. 2012. № 1. С. 48–60.
34. Nochar® Inc., Indianapolis, Indiana – Technical Product literature “Nochar PetroBond® Absorbent Polymer Oil Solidification Agent”. “Nochar Petrobond Absorbent Polymer, Tritiated Oil Solidification”, Innovative Technology Summary Report, DOE/EM-0598, U.S. Department of Energy, September, 2001.
35. Deployment of Nochar Petrobond Technology to Solidify TRU Oil at Rocky Flats, Rocky Flats, Colorado, Environmental Technology Site, PRO-1582-POP/PQP, United States Department of Energy, Office of Environmental Management, October 23, 2001.
36. Dennis Kelley, Dennis Cambell, Yuri Pokhitonov, et al. Innovative Technology for Liquid Radwaste Treatment for Use in Newly Designed Applications. 10th International Conference on Environmental Remediation and Radioactive Waste Management, ICEM '05, 4–8 September, 2005, Glasgow, Scotland, UK.
37. Bao Liangin, Lin Meiqiong, Dennis Kelley. China's Scientific Investigation for Liquid Waste Treatment Solutions. 15th Pacific Basin Nuclear Conference, 15–20 October, 2006, Sydney, Australia.
38. Похитонов Ю. А., Колобов Е. А., Келли Д. Способ переработки жидких органических радиоактивных отходов: Патент RU № 2544008. 2015.

Информация об авторе

Похитонов Юрий Алексеевич, кандидат химических наук, ведущий научный сотрудник, АО «Радиовый институт имени В. Г. Хлопина» (194021, Санкт-Петербург, 2-й Муринский пр., д. 28), e-mail: yropkh@khlopin.ru.

Библиографическое описание статьи

Похитонов Ю. А. Применение полимеров в процессах иммобилизации жидких органических радиоактивных отходов // Радиоактивные отходы. 2019. № 4(9). С. 91–100. DOI: 10.25283/2587-9707-2019-4-91-100.

APPLICATION OF POLYMER MATERIALS FOR ORGANIC LIQUID RADIOACTIVE WASTE IMMOBILIZATION

Pokhitonov Yu. A.

V. G. Khlopin Radium Institute, St. Petersburg, Russia

Article received on July 9, 2019

The article gives an overview of published data on the experience of polymer materials usage for liquid organic radioactive waste management. The advantages and disadvantages of incineration, cementing and other methods are noted. Data on polymer polymeric materials usage for liquid organic radioactive waste treatment and the results of experiments conducted in V.G. Khlopin Radium Institute are presented. The advantages of polymers consist in the use of simple equipment, the minimum number of technological operations and the possibility of immobilizing liquid organic radioactive waste into polymer material for subsequent incineration (pyrolysis).

Keywords: radioactive waste, liquid organic radioactive waste, liquid organic radioactive waste immobilization, polymer materials.

References

1. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. Options for the Treatment and Solidification of Organic Radioactive Waste. Technical Reports Series no. 294. IAEA, Vienna, 1989.
2. Dussossoy J. L. Incineration of radioactive organic liquids. Incineration of Radioactive Waste. Proc. CEC Sem. Arnhem, 1984. Rep. CEC-EUR-9621, Graham and Trotman, London, 1985, pp. 97–103. (In French).
3. Assessment of Best Practicable Environmental Options (BPEOs) for Management of Low- and Intermediate-Level Solid Radioactive Wastes, HM Stationery Office, London, 1986.
4. Meile L. J., Meyer F. G., Johnson A. J., Ziegler D. L. Rocky Flats Plant Fluidized Bed Incinerator, Rep. RFP-3249, Rockwell International Corp., Golden, CO, 1982.
5. Meyer F. G., Johnson A. J., Day G. D., Watson L. E. Fluidized Bed Incineration of Nuclear Waste, Rep. RFP-3311, Rockwell International Corp., Golden, CO, 1983.
6. Karpenko V. I., Shushakova M. V., Ozherel'yev O. A. Tekhnologiya kataliticheskoy pererabotki zhidkikh radioaktivnykh organicheskikh otkhodov [Catalytic processing technology for liquid organic radioactive waste]. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta — Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2005, vol. 308, no. 3, pp. 88–91.
7. Bogdanov A. F., Dzekun Ye. G., Korchenkin K. K. et al. Sposob obezvrezhivaniya zhidkikh radioaktivnykh organicheskikh otkhodov, soderzhashchikh efiry fosfornykh kislot [Decontamination method for liquid radioactive waste containing phosphoric acid esters]. Patent RF, no. 2186433, 2002.
8. The 5th International Nuclear Conf. on Recycling, Conditioning and Disposal — RECOD'98, Oct. 25–28 1998, France.
9. Sunagawa T., Yamakawa T., Shibata S., Obara K., Hoshiko K. Volume Reduction of Waste Solvent by Wet Oxidation Process, Rep. K2, Atomic Energy Society of Japan, Tokyo, 1985.
10. Oki S., et al. Volume reduction of flame-resisting radioactive wastes by a new wet oxidation process. Waste Management '84. Proc. Symp. Tucson, 1984. Arizona Univ., Tucson, AZ, 1984.
11. Clark D. E., Colombo P., Neilson R. M., Jr. Solidification of Oils and Organic Liquids. Rep. BNL-51612, Brookhaven National Lab., Upton, NY, 1982.
12. Greenhalgh W. O., Immobilization of Organic Liquid Wastes, Rep. HEDL-SA-3377-FP, Hanford Engineering Development Lab. Richmond, WA, 1985.
13. Varlakov A. P., Gorbunova O. A., Nevrov Yu. V., et al. Sposob tsementirovaniya zhidkikh radioaktivnykh otkhodov, soderzhashchikh mineral'nyye maslo i/ili organicheskkiye zhidkosti, i ustroystvo dlya yego osushchestvleniya [Cementation method for liquid radioactive waste containing mineral oil and / or organic liquids, and the device enabling its implementation]. Patent RF, no. 2317605, 2008.
14. Gorbunova O. A. Tsementirovaniye tverdykh radioaktivnykh otkhodov metodom propitki vysoko pronikayushchimi rastvorami. Diss. kand. techn. nauk. [Cementation of solid radioactive waste via impregnation with highly penetrating solutions Kand. techn. sci. diss.]. Moscow, 2004.
15. MANAGEMENT OF LOW AND INTERMEDIATE LEVEL RADIOACTIVE WASTES WITH POLYMERS. Technical Report Series No 289. International Atomic Energy Agency, Vienna, 1988.
16. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Management of Spent Ion-Exchange Resins from Nuclear Power Plants, IAEA-TECDOC-238, IAEA, Vienna, 1981.
17. Tassigny C. et al. Decisive progress in thermosetting resin embedding. ANS Winter Meeting, Washington, DC, 11–16 Nov. 1984.

18. Bennet B. et al. Conditioning options for Magnox fuel element debris. Radioactive Waste Management, British Nuclear Energy Society, London, 1984, pp. 117–127.
19. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Conditioning of Low- and Intermediate-Level Radioactive Wastes, Technical Reports Series no. 222, IAEA, Vienna, 1983.
20. Colombo P. et al. Polyethylene Solidification of Low-Level Wastes. Top. Rep. BNL-51867, Brookhaven National Laboratory, Upton, NY, 1984.
21. Hayase Y. et al. Solidification of radioactive wastes using thermoplastic resin. Conditioning of Radioactive Wastes for Storage and Disposal (Proc. Symp. Utrecht, 1982), IAEA, Vienna, 1983, p. 133.
22. Franz E. M. et al. Waste Form Evaluation Program. Final Report, Rep. BNL-51954, Brookhaven National Laboratory, Upton, NY, 1985.
23. Haller P. et al. Experience d'exploitation industrielle du poste d'enrobage des déchets radioactifs dans les résines thermodurcissables & la Centrale nucléaire des Ardennes. Conditioning of Radioactive Wastes for Storage and Disposal (Proc. Symp. Utrecht, 1982), IAEA, Vienna, 1983, p. 101.
24. Kuribayashi H. et al. Embedding of radioactive wastes in thennosetting resin matrix. ANS Winter Meeting, Washington, DC, 14–19 Nov. 1982.
25. Irie H. et al. Development of plastic solidification for LWR. Seminar on Management of Radioactive Waste, Taipei, 25–26 June 1983.
26. Hayashi M. et al. Solidification of radioactive wastes with thermosetting resin. Materials Research Society Annual Meeting on Scientific Basis for Nuclear Waste Management, Boston, MA, Nov. 1981.
27. Williamson A. S., Husain A. A plant for immobilizing low-level aqueous waste in water extendible polymer. ANS Int. Top. Mtg Niagara Falls, NY, Sep. 1986.
28. Filter H. E. The Dow System for Solidification of Low-Level Radioactive Waste from Nuclear Power Plants, Dow Chemical Co., Midland, MI, Oct. 1976.
29. Graves J. J. The chemical cleaning of Dresden Unit 1. Trans. Am. Nucl. Soc, 1978, no. 28, p. 131.
30. Ambros R. et al. Reactor waste management practices in the Federal Republic of Germany. On-Site Management of Power Reactor Wastes. (Proc. Symp. Zurich, 1979), OECD-NEA, Paris, 1980.
31. Vidal H. IAEA Technical Committee Meeting on Immobilization of Low and Intermediate Level Radioactive Wastes with Polymers, Rome, 14–18 April, 1986.
32. Pokhitonov Yu. A., Kapustin V. K., Leonov V. V. e.a. Rezul'taty ispol'zovaniya otechestvennykh polimerov dlya otverzhdeniya radioaktivnykh masel i otrabotavshikh ekstragentov [Results of applying domestically produced polymers to solidify radioactive oils and spent extractants]. Tezisy dokladov na VMezhdunarodnom kongresse himicheskikh tekhnologij [Abstr. 5th Int. Congr. of Chemical Technologies]. Moscow, 2004.
33. Volkova T. S., Slyunchev O. M., Bobrov P. A., Tananayev I. G. Sposoby obrashcheniya s organicheskimi ZHRO [Methods for managing organic LRW]. Voprosy radiatsionnoy bezopasnosti – Issues of radiation safety, 2012, no. 1, pp. 48–60.
34. Nochar® Inc., Indianapolis, Indiana — Technical Product literature “Nochar PetroBond® Absorbent Polymer Oil Solidification Agent”. “Nochar Petrobond Absorbent Polymer, Tritiated Oil Solidification”, Innovative Technology Summary Report, DOE/EM-0598, U.S. Department of Energy, September, 2001.
35. Deployment of Nochar Petrobond Technology to Solidify TRU Oil at Rocky Flats, Rocky Flats, Colorado, Environmental Technology Site, PRO-1582-POP/PQP, United States Department of Energy, Office of Environmental Management, October 23, 2001.
36. Dennis Kelley, Dennis Cambell, Yuri Pokhitonov, et al. Innovative Technology for Liquid Radwaste Treatment for Use in Newly Designed Applications. 10th International Conference on Environmental Remediation and Radioactive Waste Management, IECM '05, 4–8 September, 2005, Glasgow, Scotland, UK.
37. Bao Liangin, Lin Meiqiong, Dennis Kelley. China's Scientific Investigation for Liquid Waste Treatment Solutions. 15th Pacific Basin Nuclear Conference, 15–20 October, 2006, Sydney, Australia.
38. Pokhitonov Yu. A., Kolobov Ye. A., Denis K. Sposob pererabotki zhidkikh organicheskikh radioaktivnykh otkhodov [Method for liquid organic radioactive waste processing]. Patent RF, no.2544008. 2015.

Information about the author

Pokhitonov Yurii Alekseevich, Ph.D., Leading Researcher Fellow, V. G. Khlopin Radium Institute (28, 2nd Murinsky Ave., St. Petersburg, 194021, Russia), e-mail: ypokh@khlopin.ru.

Bibliographic description

Pokhitonov Yu. A. Application of Polymer Materials for Organic Liquid Radioactive Waste Immobilization. *Radioactive Waste*, 2019, no. 4 (9), pp. 91–100. DOI: 10.25283/2587-9707-2019-4-91-100. (In Russian).