

СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ УДАЛЕНИЯ ПРОЧНОФИКСИРОВАННЫХ ПОВЕРХНОСТНЫХ РАДИОАКТИВНЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ ПРИ ХИМИЧЕСКОЙ ДЕЗАКТИВАЦИИ ПО МЕСТУ (IN SITU)

Ю.С. Коряковский, В.А. Доильницын, А.А. Акатов

Санкт-Петербургский государственный технологический институт
(технический университет)

199013, Россия, г. Санкт-Петербург, Московский проспект, д. 26



Приведены результаты работ, направленных на совершенствование способов химической дезактивации. Дан краткий анализ существующих технологий химической дезактивации, используемых для удаления радиоактивного загрязнения (РАЗ) со стен, полов, наружных поверхностей оборудования без демонтажа, т.е. по месту (*in situ*). Определен вектор исследований, нацеленных на повышение эффективности удаления прочнофиксированных РАЗ. Цель работы – улучшение дезактивирующих свойств съемных полимерных покрытий, используемых на практике. В качестве объектов исследований выбраны отечественные продукты – составы марок ВА и ВЛ, а также ЗПС-1М. Выполненные в СПбГТИ (ТУ) работы по модификации указанных составов позволили в ряде случаев добиться существенного увеличения коэффициентов дезактивации K_d . Наилучшие результаты получены для составов марки ВЛ: обнаружено, что введение определенных добавок дает возможность повысить K_d при очистке металлических поверхностей в 5 – 35 раз по сравнению с базовым продуктом. Наряду с пленочной дезактивацией предложена альтернативная технология с применением нового, защищенного патентом РФ, способа, разработанного в СПбГТИ (ТУ). Суть способа заключается в использовании композиционного укрывного материала на основе сорбента, предварительно насыщенного дезактивирующим раствором. Указанный способ позволяет добиться высоких коэффициентов дезактивации (150 – 500) при удалении прочнофиксированного РАЗ с металлических поверхностей. Кроме того, технология может применяться для полимерных и других неметаллических материалов. Одним из основных преимуществ нового способа является радикальное (в 11 – 16 раз) сокращение времени пребывания персонала в опасной зоне при проведении дезактивационных работ.

Ключевые слова: дезактивация, вывод из эксплуатации, прочнофиксированное радиоактивное загрязнение, пленкообразующие составы, композиционный дезактивирующий материал.

К настоящему времени многие радиационно опасные объекты (ядерные энергоблоки, радиохимические производства, площадки научно-исследовательских организаций и т.п.) исчерпали свой ресурс и подлежат выводу из эксплуатации (ВиЭ). При этом вывод из эксплуатации крупного предприятия, как правило, предусматривает очень большой объем дезактивационных работ.

Дезактивация в процессе ВиЭ выполняется с целью освобождения от радиационного контроля максимально большого количества материалов, для снижения риска опасного облучения персонала, занятого выполнением демонтажных работ, а также во избежание распространения РАЗ (в частности, с радиоактивной пылью) по другим помещениям и по территории предприятия в целом.

При выводе из эксплуатации важны как способы дезактивации, предназначенные для обработки демонтированного (фрагментированного) оборудования на специально оборудованных участках (например, дезактивация металлического лома в погружных ваннах), так и приемы, нацеленные на удаление РАЗ со стен, полов, облицовки камер и боксов, наружных поверхностей оборудования без демонтажа, «по месту» (*in situ*).

Среди последних можно выделить жидкостные способы дезактивации, например, струйную обработку загрязненной поверхности водой или раствором химических реагентов. Ранее эти способы использовались достаточно широко, однако в дальнейшем появилось стремление к снижению количества РАО, образующихся при дезактивации. Поэтому к настоящему времени известен ряд так называемых «сухих» и малоотходных технологий, являющихся альтернативой жидкостным способам, дающим на выходе максимальный объем вторичных радиоактивных отходов [1].

Ряд критериев, учитываемых при выборе способа дезактивации:

- высокая эффективность удаления РАЗ;
- отсутствие распространения РАЗ;
- минимальное количество вторичных РАО;
- экономичность;
- взрыво- и пожаробезопасность и т.д. [2].

Перечисленные требования справедливы и для технологий локальной дезактивации *in situ*. Кроме того, способы, принадлежащие к данной группе, должны, по возможности, обеспечивать минимальное время пребывания персонала в опасной зоне (на участках, характеризующихся повышенной мощностью дозы и (или) значительной аэрозольной активностью) в процессе выполнения работ. Реализация этого условия позволяет минимизировать облучение сотрудников.

Среди химических способов, пригодных для дезактивации *in situ*, можно выделить следующие технологии:

- протирание ветошью, смоченной дезактивирующим раствором;
- вакуумирование в «мокрое» исполнении, когда пылесос заряжается моющим дезактивирующим раствором;
- электрохимическая дезактивация с применением выносного электрода;
- пенная дезактивация;
- дезактивация травильными пастами и гелями;
- дезактивация съемными полимерными покрытиями;
- дезактивация сорбентами.

Каждый из перечисленных способов имеет недостатки, например, пылесосы, сорбенты, коммерчески доступные пенные составы и пленкообразующие композиции в большинстве случаев оказываются малоэффективными, если речь идет об удалении прочнофиксированных радиоактивных загрязнений. Под прочнофиксированным РАЗ подразумевается загрязнение, сцепленное с оксидной пленкой на поверхности металла или проникшее в сам металл, а в случае с полимерными материалами – РАЗ, продиффундиро-

вавшее вглубь полимера (это относится и к лакокрасочным покрытиям).

Для удаления прочнофиксированных РАЗ с металлических поверхностей можно рекомендовать протирание ветошью, смоченной составом на основе сильных минеральных кислот, нанесение травильных паст и гелей [3 – 6], вневанную электрохимическую дезактивацию (с выносным электродом в виде щетки, имеющей отверстия для принудительной подачи и отсоса электролита [3, 7]). Недостаток данных способов состоит в относительно малой производительности. Так, протирание, нанесение на поверхность паст и гелей и, в особенности, их удаление требует определенного времени. К примеру, на распределение ровного слоя пасты по загрязненной металлической поверхности требуется затратить порядка 20 – 30 с/м², на очистку – еще 45 – 90 с, а зачастую и больше с учетом отмытки металла от остатков средства. Электрощетка еще менее производительна – при ее использовании скорость обработки составляет порядка 8 – 10 мин/м² (при плотности тока порядка 250 – 700 А/дм² и площади электрода 1 дм² [3]). Увеличение же продолжительности работ на дезактивируемом участке повышает риск переоблучения персонала.

Вышеприведенные факторы обуславливают целесообразность внедрения таких способов и средств наружной дезактивации *in situ*, которые позволяли бы эффективно удалять прочнофиксированные РАЗ при минимальном времени радиационного воздействия на персонал.

С этой точки зрения интерес представляют съемные полимерные покрытия. Впервые в отечественной практике данные средства дезактивации были опробованы на радиационно опасных объектах ВМФ (береговых технических базах и атомных подводных лодках), в частности, широко применялись рецептуры на основе поливинилового спирта. Поскольку подобные составы отличает низкий срок хранения, их приходилось изготавливать в полевых условиях непосредственно перед применением [8].

В 1980-х гг. полимерные составы использовались для дезактивации в ходе ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС; преимущественно применялись композиции, разработанные НИКИМТ [8].

В начале 2000-х годов на снабжение ВМФ был принят состав ЗПС-1М, имеющий в основе поливинилацетатную эмульсию; рецептура приобретает дезактивирующее действие за счет добавления ортофосфорной кислоты. Разделение состава на три компонента (дисперсию поливинилацетата, пигментную краску и концентрированную ортофосфорную кислоту) позволило увеличить срок хранения до пяти лет [9].

В отдельную категорию можно выделить дезактивирующие пленкообразующие составы ВА-501, ВА-502, ВА-503, ВА-504 и ВЛ-501, ВЛ-502, ВЛ-503, ВЛ-504. Рецептуры марок ВА изготовлены на основе водных растворов поливинилового спирта, а марок ВЛ – на основе водно-спиртовых растворов поливинилбутираля и его модификаций. Дезактивирующими компонентами в указанных продуктах являются минеральные кислоты (азотная, ортофосфорная), органические кислоты (лимонная, уксусная), комплексообразователи (ЭДТА, ОЭДФК и др.), поверхностно-активные вещества (ОП-7, ОП-10).

Составы марок ВА и ВЛ выпускаются производителями ООО «Дреко» (ООО «Химмед») и ООО «Диал»; по данным ООО «Дреко», заявленный срок хранения – один год. Следует особо подчеркнуть, что продукты ВА и ВЛ на сегодня являются единственными коммерчески доступными дезактивирующими составами, рекомендованными для применения на АЭС [10].

Дезактивирующие свойства составов ЗПС-1М, ВА(501–504), ВЛ(501–504) заслуживают отдельного обсуждения. С одной стороны, указанные композиции прошли необходимые испытания. По их результатам, коэффициент дезактивации поверхностей, загрязненных бета-нуклидами, составляет не менее 100, альфа-нуклидами – не менее 1000. Но следует отметить, что методика испытаний, изложенная в соответствующем нормативном документе [11], не предусматривает проверку эффективности удаления проч-

нофицированных РАЗ. На данный факт неоднократно обращалось внимание [12 – 15].

Испытания составов марок ВА и ВЛ на образцах из нержавеющей стали, выполненные в Санкт-Петербургском государственном технологическом институте (техническом университете), выявили весьма низкую эффективность удаления прочнофиксируемых РАЗ: коэффициенты дезактивации K_d по кобальту-60, стронцию-90 и цезию-137 не превысили 5 – 6.

Таблица 1

Эффективность дезактивации наружных поверхностей строительных материалов г. Припять различными способами [16]

Наименование дезактивируемого материала	Коэффициент дезактивации K_d		
	Способ дезактивации		
	пенный	струйный	«сухой» (пленочная)
Стекло	30	30	80 – 100
Бетон неокрашенный	10	20	10
Бетон окрашенный	15	18	20
Плитка метлахская	20	25	60 – 80
Железо окрашенное	20	25	70 – 90
Железо оцинкованное	20	25	70 – 90
Кровля битумная	2	5	70 – 90
Дерево окрашенное	15	25	60 – 80
Асфальт	2	5	30 – 40

Несмотря на то, что представленные на рынке пленкообразующие композиции плохо удаляют прочнофиксируемые загрязнения, реальный потенциал этой технологии гораздо выше. Об этом свидетельствует, в частности, положительный опыт применения полимерных составов в мероприятиях по ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС (табл. 1).

Как следует из таблицы, эффективность дезактивации «сухим» способом (т.е. с использованием различных съемных покрытий) для подавляющего большинства загрязненных материалов оказалась наиболее высокой [16]. К тому же, дополнительные испытания составов ВЛ и ВА показали, что их модификация различными добавками позволяет в ряде случаев существенно повысить K_d по сравнению с базовым продуктом.

В совокупности приведенные факты стали достаточным основанием для продолжения работ с составами ВЛ и ВА.

Объектом исследований являлись преимущественно металлические образцы, на которые было нанесено прочнофиксируемое загрязнение. В процессе работы изучались

- методики нанесения РАЗ на образцы;
- способы упрочнения фиксации РАЗ;
- способы введения модифицирующих добавок;
- приемы нанесения-удаления полимерных составов;
- устойчивость модифицированных композиций и др.

Наилучшие результаты были получены с составами марки ВЛ. На рисунке 1 приведены коэффициенты дезактивации стальных образцов (с прочнофиксируемым РАЗ) модифицированным составом ВЛ-501. Номера на оси абсцисс соответствуют добавкам, для которых было отмечено усиление дезактивирующего действия.

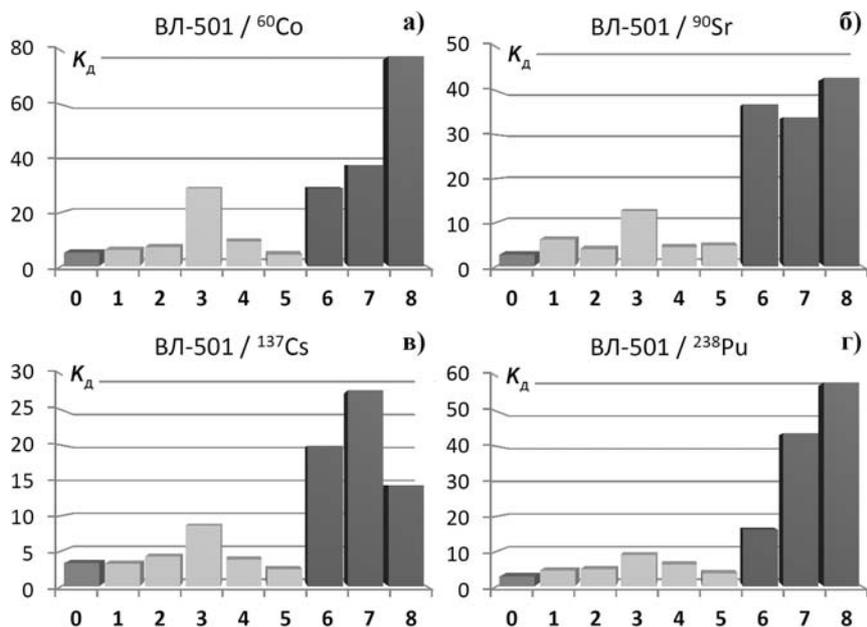


Рис. 1. Коэффициенты дезактивации K_d образцов из нержавеющей стали ВЛ-501, загрязненных радиоизотопами. Модификации состава ВЛ-501: 0 – отсутствует; 1 – щавелевой кислотой; 2 – Трилоном-Б; 3 – лимонной кислотой; 4 – азотной кислотой; 5 – соляной кислотой; 6 – хлоридом аммония; 7 – хлоридом алюминия; 8 – оксиэтилендифосфоновой кислотой

Значительное улучшение дезактивирующих свойств составов также было показано на образцах из углеродистой стали – для композиций ВЛ, модифицированных оксиэтилендифосфоновой кислотой и хлоридом алюминия. В частности, добавление хлорида алюминия позволило существенно повысить эффективность дезактивации образцов, покрытых слоем продуктов коррозии; K_d увеличился в 28 – 35 раз по сравнению с исходной композицией.

Тем не менее, несмотря на положительные результаты, в отношении съемных покрытий остается ряд невыясненных вопросов. Так для внедрения модифицированных составов в производство следует выполнить дополнительные испытания с целью выяснения влияния, которое введенные добавки оказывают на срок хранения и другие характеристики композиций. Также следует решить проблему регулирования вязкости составов: партии продуктов, задействованные в опытах, имели весьма низкую вязкость, в связи с чем их применение было возможным только на ровных горизонтальных поверхностях, поскольку даже небольшой уклон (порядка 2 – 3°) приводил к стеканию жидкого состава под действием силы тяжести.

Кроме того, при нанесении полимерных композиций на шероховатые поверхности и на заржавевшие металлы в ряде случаев наблюдалась сильная адгезия образующейся пленки, что препятствовало съему высохшего покрытия. Армирование пленок (марлей и другими материалами), как правило, позволяет решить указанную проблему, но выяснилось, что данный прием зачастую приводит и к снижению K_d .

Последующие усилия, направленные на поиск альтернативных средств удаления прочнофиксированных загрязнений, привели к созданию новой технологии, защищенной патентом РФ [17].

В предлагаемом способе для удаления РАЗ используется композиционный материал. Его основным элементом является сорбент, предварительно насыщенный дезактивирующим раствором. Сорбент закреплен между двумя слоями – нижним влагопроницаемым, контактирующим с загрязненной поверхностью, и верхним влагонепроницаемым (рис. 2).

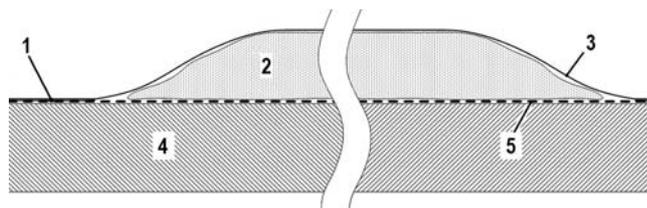


Рис. 2. Структура трехслойного композиционного материала для дезактивации: 1 – соединение верхнего и нижнего слоев (клеевое или прошивка); 2 – сорбент; 3 – верхний водонепроницаемый слой; 4 – дезактивируемый материал; 5 – нижний водонепроницаемый слой

Данный способ, разработанный в СПбГТИ (ТУ), объединяет достоинства пленочной дезактивации и дезактивации травильными пастами (гелями) – при отсутствии недостатков, присущих той и другой технологии (см. выше).

После насыщения дезраствором композиционный материал размещают на загрязненной поверхности и выдерживают в течение определенного времени. В процессе взаимодействия раствора с поверхностью происходят переход радионуклидов в жидкую фазу и их диффузия вглубь сорбента.

Нижний слой, представляющий собой тканый или нетканый водонепроницаемый материал, обеспечивает контакт поверхности с дезактивирующим раствором и последующий перенос растворенных форм радионуклидов в сорбент. Благодаря верхнему водонепроницаемому слою скорость испарения раствора радикально снижается; таким образом, время взаимодействия дезактивирующей среды с загрязнением при необходимости можно увеличить до 10 – 15 сут (для водных растворов).

Совместно нижний и верхний слои обеспечивают целостность материала (т.е. их наличие предотвращает рассыпание сорбента и исключает дополнительные операции по его сбору) и позволяют быстро укладывать и снимать композиционный материал в виде цельных листов или рулонов.

В экспериментах в качестве сорбента использовались суперабсорбенты-влагопоглотители, представляющие собой полимерные материалы на основе акриловой (метакриловой) кислоты и (или) их производных и солей, а также распушенная целлюлоза. Очевидно, что сорбентом может служить любой материал, способный поглощать и удерживать водный раствор при жидкостном модуле порядка 8 – 12 и выше (под жидкостным модулем подразумевается отношение массы дезраствора к массе сухого сорбента).

В процессе исследований нового композиционного материала были выполнены эксперименты на образцах из углеродистой стали, нержавеющей стали, пластика.

Наилучшие показатели дезактивации были достигнуты на металлических поверхностях.

В качестве дезактивирующих сред использовались, в основном, кислые рецептуры – водные растворы

- неорганических кислот (HCl , HBF_4 , HNO_3 , H_3PO_4 , H_2SO_4);
- органических кислот (щавелевой кислоты, лимонной кислоты и др.).

Концентрация реагентов изменялась в широком диапазоне (от 2 до 20% (масс.)). Для усиления действия в ряд рецептур вводились H_2O_2 , NaF , комплексообразующие соединения (Трилон-Б, диэтилентриаминпентауксусная кислота, оксиэтилидендифосфоновая кислота, гексаметафосфат натрия).

Выбор кислых растворов для дезактивации металлов обусловлен тем, что прочно-фиксированное РАЗ металлов связано, как правило, с оксидной пленкой на их поверхности – проникновение вглубь, если и имеет место, редко превышает 10 – 20 мкм. Соответственно, при длительном воздействии кислой рецептуры происходит растворение продуктов коррозии и верхнего слоя металла; радионуклиды при этом переходят в жидкую фазу и затем диффундируют в слой сорбента.

Можно предположить, что движущей силой диффузии в данном случае является градиент концентрации; конечным этапом взаимодействия является равномерное распределение радионуклидов по всему объему сорбента. В соответствии с этим процесс дезактивации можно считать завершенным, когда перенос радионуклидов с поверхности в слой сорбента прекращается.

Среди факторов, влияющих на процесс, можно выделить концентрацию дезактивирующих реагентов, толщину, плотность и химическую стойкость слоя продуктов коррозии на поверхности металла, толщину слоя сорбента. В выполненных экспериментах время установления равновесия обычно составляло 4 – 7 сут.

К моменту достижения равновесия радионуклиды, в основном, сосредоточиваются в слое сорбента; небольшая доля активности удерживается в тонкой пленке дезраствора, остающегося на поверхности. Коэффициент дезактивации после удаления композиционного материала обычно составляет несколько десятков: K_d зависит от массы дезраствора в сорбенте и от количества жидкой фазы, остающейся на поверхности (это количество зависит от величины адгезии жидкости к поверхности).

Остатки дезраствора рекомендуется удалять подходящим впитывающим материалом (в экспериментах использовалась вязкая ткань); эта вспомогательная операция выполняется достаточно быстро. При дезактивации пола остаточная жидкость может быть собрана с помощью традиционных средств (профессиональных швабр) и дренирована через систему сбора протечек.

Удаление остатков дезраствора позволяет существенно увеличить эффективность дезактивации металла и повысить K_d до значений 150 – 500. Столь высокие показатели достигаются благодаря тому, что РАЗ, остающиеся на поверхности после съема сорбента, находятся в подвижной, нефиксированной форме, и, следовательно, могут быть легко удалены. Соответственно, если начальные значения поверхностной активности бета-излучающих нуклидов составляют 60 – 200 Бк/м², то металл может быть очищен предложенным способом до уровня загрязненности, допускающего использование материала в хозяйственной деятельности [18].

Таким образом, композиционный материал, насыщенный дезраствором, выполняет двойную функцию: собирает большую часть активности, проникшей в слой снимаемого сорбента по механизму диффузии, и переводит радионуклиды в подвижную форму, значительно упрощающую удаление остаточного РАЗ.

Можно значительно повысить K_d без дополнительного протирания, если включить в состав композиционного материала сорбенты, способные удерживать радионуклиды в ионной форме по механизму хемосорбции. Но следует учитывать, что в сильноокислых средах, обеспечивающих наилучшую кинетику растворения оксидной пленки, практически все известные сорбенты утрачивают способность к удержанию радионуклидов. Поэтому повышение эффективности кислотной дезактивации металлов за счет химического связывания изотопов в слое сорбента представляется маловероятным.

По завершении дезактивации для предотвращения коррозии очищенного металла рекомендуется выполнить протирание поверхности с использованием, например, 2 – 5%-го раствора соды.

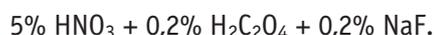
Наряду с металлами в испытаниях предлагаемого композиционного материала были использованы и полимерные образцы. При этом в качестве полимера, широко используемого на радиационно опасных объектах, было взято напольное покрытие из поливинилхлоридного пластика рецептуры 57-40. Для его дезактивации вышеописанным способом были опробованы следующие растворы:

- водные неорганических кислот (с добавлением и без добавления вспомогательных реагентов);
- водные органических кислот (с добавлением и без добавления вспомогательных

реагентов);

– на основе щелочных реагентов с добавлением комплексообразователей.

Из ряда испытанных рецептов наилучшие показатели дал раствор состава



Указанная рецептура применялась для дезактивации помещения с напольным покрытием из пластика, загрязненного альфа-излучающими нуклидами (преимущественно, плутонием-239).

Эффективность дезактивации оказалась ниже по сравнению с металлами, имеющими прочнофиксированное загрязнение. Этот результат был ожидаемым, поскольку известно, что плутоний отличается склонностью к проникновению вглубь полимеров, в то время как взаимодействие водной рецептуры с пластиком идет на границе раздела фаз и протекает, по-видимому, по механизму ионного обмена. Коэффициент дезактивации изменялся в широких пределах, от нескольких единиц до нескольких десятков, с максимальными K_d порядка 60 – 70. В целом же дезактивационные мероприятия позволили значительно улучшить радиационную обстановку в помещении – на большинстве участков уровни РАЗ были снижены до допустимых значений.

Очевидно, что для успешного внедрения каждой новой технологии дезактивации требуется проработка схемы обращения с образующимися вторичными отходами. Для рассмотренного выше способа РАО представляют собой удаленные с поверхности листы (рулоны) композиционного материала, содержащего радиоактивный дезраствор.

На первом этапе переработки целесообразно отжать дезраствор из сорбента; далее отжатый сорбент и ЖРО предлагается перерабатывать отдельно. Следует учитывать, что полный отжим жидкой фазы невозможен, и отжатый сорбент будет содержать остатки дезраствора. В связи с этим способы переработки как сорбента, так и ЖРО должны согласовываться с исходным составом дезраствора.

ЖРО, образующиеся при отжиме, могут быть соединены с другими жидкими отходами, в частности, сливаемыми из ванн для погружной дезактивации металла. Отжатые сорбенты могут перерабатываться с использованием либо низко-, либо высокотемпературных технологий.

Из «холодных» технологий можно выделить следующие:

- сушка с последующим затариванием в контейнеры;
- цементирование предварительно нейтрализованных сорбентов.

Преимущество низкотемпературных способов заключается в относительно простом аппаратном оформлении, в частности, можно предложить следующую схему «холодной» переработки, завершающейся цементированием (рис. 3).

1. Отработанный сорбент направляется на отжим.
2. После отжима сорбенты, содержащие остатки кислого дезраствора, погружаются в нейтрализующий раствор, затем повторно отжимаются.
3. После повторного отжима сорбенты помещаются в бочки, подпрессовываются и заливаются цементным тестом. Предварительное подпрессовывание (уплотнение) позволяет предотвратить набухание сорбента при взаимодействии с водой, содержащейся в цементном тесте.
4. Отработанный кислый дезраствор, полученный на стадии первого отжима сорбента, соединяется с ЖРО, образующимися на других участках.
5. Объединенный поток нейтрализуется и перерабатывается по технологии, которая согласуется с химическим составом ЖРО (например, выпаривание с целью снижения объема), и затем направляется на цементирование.

Альтернативой «холодным» технологиям являются «горячие» способы переработки (пиролиз, сжигание). Они позволяют существенно снизить объем РАО, но, с другой стороны, обуславливают значительное удорожание процесса кондиционирования. Кроме

того, при высокотемпературной обработке необходимо принимать меры по обращению с отходящими горячими газами, содержащими летучие радионуклиды и токсичные соединения.



Рис. 3. Вариант переработки композиционного материала, удаленного с деактивируемой поверхности: 1 – оработанный сорбент, насыщенный радиоактивным раствором; 2 – выжатый сорбент; 3 – ЖРО (кислый дезраствор); а – возврат нейтрализующего раствора для повторного использования; б – слив нейтрализующего раствора

Одним из основных преимуществ предлагаемого способа дезактивации наряду с высокими K_d является радикальное сокращение продолжительности выполнения работ на деактивируемом объекте: укладку сорбента в составе композиционного материала и его удаление можно выполнить, затрачивая суммарно $6,0 - 7,5 \text{ с/м}^2$ (для варианта, когда материал предварительно свернут в рулон). Таким образом, применение рассмотренного способа позволяет в 11 – 16 раз сократить время, требуемое для нанесения и удаления средства дезактивации, по сравнению с известным методом дезактивации пастами (гелями).

Кроме того, в отличие от полимерных покрытий, которые могут сниматься с трудом [16], предлагаемая технология гарантирует быстрое и полное удаление сорбента с поверхности практически во всех ситуациях, за исключением тех случаев, когда происходит высыхание нижнего слоя, контактирующего с поверхностью. Однако подобные эпизоды наблюдались только при весьма длительной выдержке (порядка 10 сут и более).

ВЫВОДЫ

1. Анализ способов, используемых для химической дезактивации *in situ*, показал, что ряд рассмотренных способов зачастую демонстрирует весьма низкую эффективность удаления прочнофиксированных РАЗ. Использование более эффективных способов, как правило, требует затрачивать на дезактивационные мероприятия больше времени, что сопряжено с получением больших дозовых нагрузок персоналом.

2. Модификация коммерчески доступных пленкообразующих композиций марок ВА и ВЛ позволяет в ряде случаев существенно (в 5 – 35 раз) повысить K_d по сравнению с исходными составами. Тем не менее, требуются дополнительные исследования с целью выяснения влияния, которое введенные добавки оказывают на срок хранения и другие эксплуатационные характеристики композиций.

3. Применение нового композиционного укрывного материала для дезактивации на основе сорбентов, насыщенных дезактивирующим раствором, позволяет достичь весьма высоких коэффициентов дезактивации металлов (150 – 500). Данный способ также может быть применен для полимерных и других неметаллических материалов.

Литература

1. *Василенко В.А., Ефимов А.А., Степанов И.К.* Технологии обеспечения радиационной безопасности на объектах с ЯЭУ: Монография. / Под общ. ред. В.А. Василенко. – СПб.: ООО «НИЦ Моринтех», 2010. – 576 с.
2. *Коряковский Ю.С., Доильницын В.А., Акатов А.А.* Дезактивация: обеспечение радиационной безопасности на предприятиях ядерной отрасли. Учебное пособие. – СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2010. – 151 с.
3. *Ампелогова Н.И., Симановский Ю.М., Трапезников А.А.* Дезактивация в ядерной энергетике. / Под ред. В.М. Седова. – М.: Энергоиздат, 1982. – 256 с.
4. Агент для травления, содержащий мочевины, и способ его получения: пат. 2259422 Рос. Федерация. МПК G23F1/28; № 2002116231/02; заявл. 12.01.2001; опубл. 27.08.2005, Бюл. № 6. – 15 с.
5. Способ дезактивации поверхностей из нержавеющей стали: пат. 2017244 Рос. Федерация. МПК G21F9/36; № 4944336/25; заявл. 10.06.1991; опубл. 30.07.1994, Бюл. – не указан. – 7 с.
6. Decontamination Gel And Method For Decontaminating Surfaces By Wetting Using Said Gel: Pat. of WIPO W02013092633. Int. cl. A61L2/32, A61L2/18; № 2012EP76026; App. 18.12.2012; Date of patent: June 27, 2013. – 70 p.
7. *Крицкий В.Г. и др.* Мероприятия по снижению мощности дозы в помещениях 1-го контура АЭС: Препринтное издание. – СПб.: ОАО «ГИ ВНИПИЭТ», 2010. – 187 с.
8. *Коряковский Ю.С., Доильницын В.А., Акатов А.А., Матвеев С.А.* Съёмные полимерные покрытия для дезактивации: достижения и разработки, применение на практике, доступность технологий (обзор) // Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета). – 2014. – № 25(51). – С. 68-79.
9. ТУ 2316-219-56271024-2007. Защитный полимерный состав ЗПС-1МЗ. – СПб.: ООО «Холдинговая компания «Пигмент», 2007. Электронный ресурс: <http://www.pigment.ru/catalog/item/81> (дата доступа 10.02.2018).
10. ОСТ 95 10562-2001. Покрытия полимерные защитные для атомных станций. Часть 1. Снимаемые защитные полимерные покрытия. Общие требования, применение и выбор. – М.: ВНИИПО, 2002. – 32 с.
11. ГОСТ Р 50773-95. Покрытия полимерные защитные для улучшения радиационной обстановки. Методы определения коэффициента дезактивации и времени защитного действия. – М.: Госстандарт России, 1995. – 20 с.
12. *Коряковский Ю.С., Акатов А.А., Матвеев С.А.* Модификация съёмных полимерных покрытий, используемых для дезактивации / Сб. тез. II Научно-технической конференции молодых ученых «Неделя науки-2012» (28–29 марта 2012 г., Санкт-Петербург), – СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2012. – С. 141.
13. *Коряковский Ю.С., Акатов А.А., Максимова У.М., Доильницын В.А., Матвеев С.А.* Разработка новых съёмных дезактивирующих полимерных покрытий / Материалы научно-практической конференции, посвященной 184-й годовщине образования Санкт-Петербургского государственного технологического института (29–30 ноября 2012 г., Санкт-Петербург), – СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2012. – С. 189.
14. *Коряковский Ю.С., Акатов А.А., Доильницын В.А.* Дезактивация пленкообразующими составами: преимущества и ограничения, возможность применения в мероприятиях по выводу из эксплуатации / IX Международный ядерный форум «Безопасность ядерных технологий: аварийная готовность и реагирование» (29 сентября – 3

октября 2014 г., Санкт-Петербург). – СПб.: Санкт-Петербургский филиал НОУ ДПО «ЦИПК Росатома», 2014. – С. 232-235.

15. *Акатов А.А., Коряковский Ю.С., Доильницын В.А.* Применение усовершенствованных пленкообразующих полимерных композиций для повышения эффективности дезактивации металлов. / Материалы научно-практической конференции «Актуальные вопросы ядерно-химических технологий и экологической безопасности» (Севастополь, 15–18 июня 2016 г.). – Севастополь: СевГУ, 2016. – С. 142-145.

16. *Степанов И.К., Константинов Е.А., Симановский Ю.М.* Нормализация радиационной обстановки при ликвидации последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС. Книга четвертая. / Под ред. Е.А. Константинова. – Сосновый Бор: типография ЛАЭС, 2006. – 208 с.

17. Способ дезактивации радиоактивно загрязненных металлических и неметаллических поверхностей: пат. 2586967 Рос. Федерация. МПК G23F1/28; № 2015109518/07; заявл. 18.03.2015; опубл. 10.06.2016, Бюл. № 16. – 18 с.

18. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010): Санитарные нормы и правила СП 2.6.1.2612-10. – Екатеринбург, Урал Юр Издат, 2014. – 108 с.

Поступила в редакцию 20.02.2018 г.

Авторы

Коряковский Юрий Сергеевич, старший преподаватель

E-mail: yuriy226@mail.ru

Доильницын Валерий Афанасьевич, заведующий кафедрой, доцент

E-mail: doilnitsyn@mail.ru

Акатов Андрей Андреевич, старший преподаватель

E-mail: andrey_akatov@mail.ru

UDC 621.039.75; 621.311.25

IMPROVING THE EFFICIENCY OF FIXED RADIONUCLIDES' REMOVAL BY CHEMICAL DECONTAMINATION OF SURFACES IN SITU

Koryakovskiy Yu.S., Doilnitsyn V.A., Akatov A.A.

Saint-Petersburg State Institute of Technology (Technical University)

26 Moskovsky av., Saint-Petersburg, 26190013 Russia

ABSTRACT

The article presents the results of work aimed at improving of chemical decontamination methods. A brief description of existing chemical decontamination technologies used to remove radioactive contamination (RC) from walls, floors and external surfaces of equipment without dismantling, i.e., *in situ*, is given. A vector of research aimed at improving the efficiency of fixed RC's removal is also determined. The first aim of this work is to improve the decontaminating properties of removable polymer coatings used in practice. The following domestic products were chosen as study objects: compositions presented under trademarks VA, VL; and also special formulation ZPS-1M. Modifications of these compounds performed in SPSIT in some cases made it possible to significantly increase the decontamination

factors (DF). The best results were obtained for VL compositions: it was found that due to certain additives it is possible to increase the DF for metal surfaces by a factor of 5–35 over the base product. Along with film-forming decontaminating compositions, an alternative patented technique has been developed in SPSIT. The main feature of this technique is usage of sorbent-based composite covering material previously saturated by decontaminating solution. New technique allows to achieve far higher decontamination factors (150–500) when fixed RC is removed from metal surfaces. In addition, it can be applied to polymer and other non-metal materials. One of the main advantages of given technique is a drastic (11–16 times) reduction of time required for carrying out decontamination operations. The obtained results may be useful for further research in this area. Thus, research performed allows to come up with general conclusion: there are possibilities to efficiently remove fixed RC from surfaces using rather simple chemical means. That, in its turn, could be a rational alternative to high-priced robotic decontaminating systems.

Key words: decontamination, decommissioning, fixed radioactive contamination, film-forming compositions, composite decontaminating material.

REFERENCES

1. Vasilenko V.A., Efimov A.A., Stepanov I.K. *Radiation safety provision at objects with NPP*. Saint-Petersburg, NIC Morinteh Publ., 2010, 576 p. (in Russian).
2. Koryakovskiy Yu.S., Doilnitsyn V.A., Akatov A.A. *Decontamination: provision of radiation safety at enterprises of nuclear branch: tutorial*. Saint-Petersburg. SPSIT Publ., 2010, 151 p. (in Russian).
3. Ampelogova N.I., Simanovskij Yu.M., Trapeznikov A.A. *Decontamination in nuclear power engineering industry*. Moscow. Energoizdat Publ., 1982, 256 p. (in Russian).
4. Lunner Sven-Jerik, Hegg Fredrik. Urea-containing agent for etching and the way of its production. Patent RF, no. 2259422, Int. cl. G23/F1/28, 2005, 15 p. (in Russian).
5. Konkin E.D., Kizhnerova A.V., Kuleshova E.B. Technique of stainless steel decontamination. Patent RF, no. 2017244, Int. cl. G21F9/36, 1994, 7 p. (in Russian).
6. Cuer Frederic; Castellani Romain. Decontamination Gel and Method for Decontaminating Surfaces by Wetting Using Said Gel: Pat. of WIPO WO2013092633, Int. cl. A61L2/232, A61L2/18, 2013, 70 p.
7. Krickij V.G., Rodionov Yu.A., Stjazhkin P.S., Zelenina E.V. *Activities aimed at dose rate decreasing in NPP premises belonging to 1-st circuit*. Preprint. Saint-Petersburg. GI VNIPIET Publ., 2010, 187 p. (in Russian).
8. Koryakovskiy Yu.S., Doilnitsyn V.A., Akatov A.A., Matveev S.A. Removable polymer coatings for decontamination: achievements and inventions, application, availability (review). *Izvestija Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo tehnologicheskogo instituta (tehničeskogo universiteta)*. 2014, no. 25(51), pp. 68-79.
9. TU 2316-219-56271024-2007. *Protective polymeric structure of ZPS-1M3*. Saint-Petersburg. Pigment Publ., 2007. Available at: <http://www.pigment.ru/catalog/item/81> (accessed Feb 10, 2018) (in Russian).
10. OST 95 10562-2001. *Coverings polymeric protective for nuclear power plants. Part 1. The removed protective polymeric coverings. General requirements, application and choice*. Moscow. VNIPO Publ., 2002, 32 p. (in Russian).
11. GOST R 50773-95. *Coverings polymeric protective for improvement of a radiation situation. Methods of determination of coefficient of deactivation and time of protective action*. Moscow. Gosstandart Rossii Publ., 1995, 20 p. (in Russian).
12. Koryakovskiy Yu.S., Akatov A.A., Matveev S.A. *Modification of removable polymer coatings for decontamination*. Proc. of the II Sci.-Techn. Conf. of Young Scientists

«Nedelja nauki-2012». Saint-Petersburg, SPSIT, 2012, p. 141 (in Russian).

13. Koryakovskiy Yu.S., Akatov A.A., Maksimova U.M., Doilnitsyn V.A., Matveev S.A. *Development of new removable polymer coatings for decontamination*. Proc. of the Sci.-Pract. Conf. devoted to the 184th anniversary of formation of Saint-Petersburg State Institute of Technology. Saint-Petersburg. SPSIT Publ., 2012, p. 189 (in Russian).

14. Koryakovskiy Yu.S., Akatov A.A., Doilnitsyn V.A. *Decontamination by film-forming compositions: advantages and limitations, possibilities for usage during decommissioning*. Proc. of the IX Int. Nucl. Forum «Bezopasnost' jadernyh tehnologij: avarijnaja gotovnost' i reagirovanie». Saint-Petersburg, NOU DPO «CIPK Rosatoma» Publ., 2014, pp. 232-235 (in Russian).

15. Koryakovskiy Yu.S., Doilnitsyn V.A., Akatov A.A. *Usage of improved film-forming polymer compositions for enhancement of efficiency of metals' decontamination*. Proc. of the Sci.-Pract. Conf. «Aktual'nye voprosy yaderno-khimicheskikh tehnologij i ekologicheskoy bezopasnosti». Sevastopol. SevGU Publ., 2016, pp. 142-145 (in Russian).

16. Stepanov I.K., Konstantinov E.A., Simanovskij Yu.M. *Normalization of radiation situation in the process of post-accident recovery on site of Chernobyl NPP*. Book 4. Sosnovyj Bor. Leningrad NPP Publ., 2006, 208 p. (in Russian).

17. Koryakovskiy Yu.S., Doilnitsyn V.A., Akatov A.A., Shmakov L.V. *Decontamination technique for metal and non-metal surfaces, contaminated by radionuclides*. Patent RF, no. 2586967, Int. cl. G23F1/28, 2016, 18 p. (in Russian).

18. OSPORB-99/2010. *Basic health regulations of ensuring radiation safety: sanitary standards and rules of the joint venture 2.6.1.2612-10*. Ekaterinburg. UralYurIzdat Publ., 2014, 108 p. (in Russian).

Authors

Koryakovskiy Yuriy Sergeevitch, Senior Lecturer
E-mail: yuriy226@mail.ru

Doilnitsyn Valeriy Afanasievitch, Head of Department, Assistant Professor
E-mail doilnitsyn@mail.ru

Akatov Andrey Andreevitch, Senior Lecturer
E-mail: andrey_akatov@mail.ru