

КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ТВЕРДЫХ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦЕМЕНТНЫХ МАТРИЦ

А. П. Варлаков¹, А. С. Баринов²

¹АО «Высокотехнологический научно-исследовательский институт им. академика А. А. Бочвара», Москва

²Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН, Москва

Статья поступила в редакцию 14 ноября 2020 г.

Статья посвящена вопросам кондиционирования твердых радиоактивных отходов с использованием цементной матрицы. Рассмотрены способы омоноличивания отходов различного состава и размеров фрагментов. Приведены рецептуры цементных композиций для различного типа отходов, омоноличиваемых способами перемешивания, пропитки и проливки. Показано, что наиболее эффективным способом кондиционирования твердых радиоактивных отходов с использованием цементных растворов является способ пропитки.

Ключевые слова: радиоактивные отходы, цементная матрица, составы цементных композиций, омоноличивание твердых радиоактивных отходов.

Введение

Реализация мероприятий Федеральной целевой программы «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2016–2020 годы и на период до 2030 года» предусматривает значительный объем работ по ликвидации и выводу из эксплуатации объектов ядерного наследия. При их выполнении неизбежно будут образовываться радиоактивные отходы (РАО) различного морфологического состава, включающие как фрагменты демонтируемого оборудования, строительных конструкций, так и сыпучие материалы в виде строительного мусора и загрязненного грунта. По требованиям норм и правил в области использования атомной энергии [1] для приведения РАО к критериям приемлемости необходимо преобразовать их в устойчивую форму, позволяющую изолировать радиоактивные материалы и обеспечить

безопасность при их перевозке и размещении в пункте захоронения (ПЗРО). Аналогичной процедуре должны подвергаться и РАО, представляющие собой мелкодисперсные пылящие материалы, например зольный остаток. Отходы, получаемые при выводе из эксплуатации объектов ядерного наследия, преимущественно относятся к классам низко- и среднеактивных отходов (НАО, САО). Основным методом кондиционирования НАО и САО является включение их в матричную композицию. Наиболее универсальным и отработанным способом является омоноличивание твердых радиоактивных отходов (ТРО) с использованием матриц на основе цементных материалов. Цементирование ТРО низкой и средней активности распространено в мире благодаря возможности получать кондиционированный продукт, удовлетворяющий

регламентированным требованиям, без высоких капитальных вложений и эксплуатационных затрат.

В свое время технологии цементирования активно развивались в ГУП МосНПО «Радон». За период 1995–2011 гг. в результате проведенных работ разработаны технологические установки для кондиционирования различных групп ТРО, определены технологические параметры процессов и унифицированные рецептуры цементных смесей, позволяющие получать цементный компаунд, соответствующий нормативным требованиям [2]. В настоящей статье в краткой форме изложены основные направления применения способа цементирования для кондиционирования ТРО.

Общие требования к кондиционированию ТРО

Целью переработки и кондиционирования РАО, и в частности ТРО, является перевод их в твердые устойчивые формы, фиксация радиоактивных веществ и сокращение объема для снижения затрат при их хранении, перевозке и захоронении [3]. В отечественных нормах и правилах в области использования атомной энергии устанавливается, что: «РАО классов 1, 2 и 3 должны захораниваться в структурно стабильной форме. Форма РАО и (или) упаковка РАО классов 1, 2 и 3 должна сохранять в условиях захоронения свои физические размеры, структуру и механические свойства в заданных в проекте ПЗРО пределах» [1]. Очевидно, под механическими свойствами в данном случае понимается прочность упаковки с РАО, размещенной в сооружении для захоронения. Таким образом, для выполнения этого условия существуют два варианта: использование прочного контейнера или омоноличивание его содержимого. Что касается РАО 4 класса, то здесь нормативные требования несколько разнятся. Так, допускается захоронение таких отходов без омоноличивания или в неупакованном виде [1]. В то же время для сыпучих пылящих отходов требуется их преобразование в структурно-стабильную форму (омоноличивание) или использование упаковки. [4]. Практически аналогичные требования для таких отходов установлены и в [1]: «РАО в порошкообразной диспергируемой форме с высокой способностью к рассеянию должны быть переведены в форму, ограничивающую их способность к рассеянию, и (или) упакованы таким образом, чтобы радиационное воздействие на работников (персонал), население и окружающую среду, обусловленное выходом радиоактивных веществ из упаковки РАО (неупакованных РАО)

при нормальной эксплуатации ПЗРО и нарушениях нормальной эксплуатации ПЗРО, не превышало установленных нормативными правовыми актами пределов».

Требования по механической прочности упаковок для захоронения являются одним из основных нормируемых показателей, поскольку данное свойство кондиционированных РАО во многом определяет долговременную безопасность ПЗРО. Механические характеристики упаковок РАО должны соответствовать условиям проведения транспортно-технологических операций, в том числе укладку в штабель, если это предусмотрено транспортно-технологической схемой при захоронении. Техническими нормами установлено, что механическая прочность упаковки РАО должна быть не ниже требований, установленных правилами, регламентирующими безопасность при транспортировании, для упаковок радиоактивных материалов типа А, что соответствует прочности при сжатии не менее 5 МПа [1]. Следует отметить, что выполнение этих требований к упаковкам РАО должно обеспечиваться за счет сочетания свойств элементов упаковки РАО, в том числе ее радиоактивного содержимого, формы РАО и контейнера (упаковочного комплекта) [1]. Как показывает опыт контейнеризации ТРО, объем пустот в загруженном отходами контейнере составляет до 40–60%. Заполнение этих пустот цементным раствором может быть достаточным для образования цементной матрицы требуемого качества и позволяет получать конечный продукт объемом, равным исходному насыпному объему отходов. Таким образом, имеется возможность выбора варианта кондиционирования РАО: либо проводить их омоноличивание с созданием прочного компаунда и использованием «легких», а следовательно, и более дешевых тонкостенных контейнеров с большим полезным объемом либо использовать прочные толстостенные контейнеры, полезный объем которых значительно ниже, а стоимость существенно больше. Следует отметить, что экономическая выгода от использования тонкостенных контейнеров значительно возрастает, поскольку плата за захоронение РАО исчисляется по брутто объему упаковки, т. е. с учетом объема контейнера.

Вид отходов определяет способ проведения процесса омоноличивания, для которого подбирается состав цементной композиции. Для однородных по гранулометрическому составу мелкодисперсных ТРО преимущественно применяются методы перемешивания непосредственно в контейнере или смесителе. Приготовление цементного компаунда в контейнере

проводится либо вращением герметично закрытого контейнера, либо с помощью мешалок. В смесителе — в порционном или непрерывном режимах.

На выбор оборудования и метода приготовления цементного компаунда помимо вида отходов влияют и другие параметры (простота и надежность операций, производительность, количество и вид вторичных отходов, минимизация радиационного воздействия на персонал, ремонтпригодность и стоимость оборудования), но главными являются безаварийность, надежность и качество приготовления цементного компаунда с максимальным включением отходов.

Преимуществами приготовления цементного компаунда в контейнере являются простота всех операций, точность контроля количества компонентов при порционном дозировании, минимальное количество вторичных отходов. Недостатки — контейнер не может быть заполнен полностью из-за необходимости иметь свободное пространство для движения смеси, затруднен отбор проб цементного компаунда для контроля качества получаемого продукта.

Преимуществами порционного приготовления цементного компаунда в емкостных смесителях являются высокое качество перемешивания, точность контроля количества компонентов при порционном дозировании, простота отбора контрольных проб. Недостатки — возможно расслаивание цементного раствора с гетерогенными отходами в смесителе из-за спокойного, как правило, характера перемешивания, необходимость использования контейнеров только стандартного объема.

Преимуществами непрерывного приготовления цементного раствора в смесителях является небольшой объем вторичных отходов, оптимальное наполнение контейнера, возможность использования контейнеров разного объема. Недостатки — неравномерное дозирование сыпучих компонентов, при котором велика вероятность закупорки питающего оборудования и смесителя. Кроме того, во время процедур запуска и остановки изменяется состав компаунда.

Лучше всего отработано цементирование крупнофрагментированных и прессованных ТРО, которые омоноличивают непосредственно в контейнере проливкой. При этом на поверхность слоя ТРО подают цементный раствор, который под воздействием собственной массы проникает в пустоты между фрагментами отходов. Недостатками проливки являются неравномерность заполнения пустот цементным раствором, отсутствие гарантии омоноличивания

нижних слоев отходов и возможности контроля качества цементного компаунда, необходимость применения цементных растворов с высокой растекаемостью, что может быть причиной неудовлетворительных свойств компаунда, и неполное заполнение контейнера отходами из-за необходимости сохранения свободного объема над слоем ТРО для подачи цементного раствора.

Для ТРО с мелкими фрагментами и плотной упаковкой насыпного слоя наилучшие результаты дает метод пропитки, при котором объем отходов, размещенных в контейнере, насыщают цементным раствором при помощи специальных технологических приемов. Известны способы пропитки при вибрации заполненного отходами контейнера с одновременной подачей инжектором цементного раствора, обладающего высокой растекаемостью, или использование проволочных сеток с отходами, погруженных в контейнер с цементным раствором. Преимуществом таких методов пропитки является гарантия омоноличивания всего объема ТРО. Недостатками — неполное заполнение контейнера отходами, неудовлетворительные свойства компаунда из-за применения цементных растворов с высокой растекаемостью.

Цементная композиция должна обеспечивать требуемое качество цементного компаунда для проведения технологического процесса и длительного хранения. Стандартные регламентированные требования к цементированным РАО обеспечивают сохранение их первичных физико-химических свойств и целостность при обращении, транспортировании, хранении и захоронении.

Нормативными требованиями [4] установлено, что «показатели качества компаунда омоноличиваемых ТРО должны соответствовать показателям качества компаунда, установленным федеральными нормами и правилами в области использования атомной энергии в отношении отвержденных жидких РАО». В табл. 1 приведены основные показатели качества цементного компаунда, подтверждение которых должно проводиться испытаниями цементного компаунда в соответствии с установленными процедурами [5].

Предлагаемые составы цементных композиций для кондиционирования РАО разнообразны и зависят от вида отходов. При омоноличивании ТРО перемешиванием и проливкой хорошо зарекомендовали себя цементные растворы с обычным портландцементом (ПЦ), обладающим удельной поверхностью ($S_{уд}$) 2900—3500 см²/г. Однако такие растворы непригодны для проливки плотноупакованных

Таблица 1. Основные показатели качества цементного компаунда [6]

Показатель качества	Допустимые значения
Водоустойчивость (скорость выщелачивания радионуклидов по ^{137}Cs и ^{90}Sr)	Не более $1 \cdot 10^{-3}$ г/см ² сут
Механическая прочность (предел прочности при сжатии)	Не менее 50 кгс/см ²
Радиационная устойчивость	Механическая прочность не менее 50 кгс/см ² после облучения дозой 10^6 Гр
Устойчивость к термическим циклам	Механическая прочность: не менее 50 кгс/см ² после 30 циклов замораживания и оттаивания ($-40 \dots +40$ °С)
Водостойкость	Механическая прочность: не менее 50 кгс/см ² после 90-дневного погружения в воду
Объем не вошедшего в состав цементного компаунда ЖРО	Не более 1 % объема

или мелкодисперсных ТРО вследствие значительного расслаивания раствора при прохождении через слой материалов. Для таких отходов могут использоваться тонкомолотые цементы (ТМЦ), удельная поверхность которых составляет $S_{уд} = 10\,000\text{—}20\,000$ см²/г. Сверхвысокая дисперсность цементных частиц обеспечивает растворам высокую проникающую способность, сопоставимую с химическими растворами, а скрепленным материалам придает высокую прочность.

При цементировании грунтов, для повышения степени включения, могут использоваться шлакоцементы. Для плотноупакованных смешанных ТРО — цементные растворы с высокой растекаемостью, растворы силикатов натрия с отвердителями.

Для цементирования зольного остатка предлагается предварительно готовить сухие смеси зольного остатка с цементом и пропитывать их водой или ЖРО.

Технологические параметры цементирования ТРО перемешиванием, а также приготовления цементных растворов для омоноличивания ТРО подобны параметрам цементирования ЖРО.

Качество перемешивания является приемлемым, если в смесителе не образуются застойные зоны плохо перемешанных материалов и цементный компаунд имеет одинаковую плотность по всему объему смесителя. Расслаивание выражается в появлении водной фазы на поверхности цементного компаунда или осаждении гетерогенных отходов. При этом может произойти закупорка сливного устройства

смесителя и его аварийная остановка. В контейнере цементный компаунд не должен расслаиваться, поскольку это снижает качество конечного продукта.

Время схватывания цементного компаунда не должно быть меньше продолжительности технологического цикла — времени от начала до окончания перемешивания компаунда или его слива в контейнер.

Растекаемость считается удовлетворительной, если цементный компаунд свободно вытекает из смесителя или при перемешивании в контейнере качество его приготовления приемлемое.

Метод перемешивания может быть использован только для мелкодисперсных ТРО, таких как однородный по гранулометрическому составу зольный остаток. При исследовании цементирования зольного остатка перемешиванием было установлено, что цементные компаунды приемлемого качества без расслаивания могут быть приготовлены с максимальным содержанием зольного остатка около 30% по массе. Растекаемость компаунда при этом составляет около 100 мм. При таких условиях приготовления возможно только в контейнере с помощью мешалки. В качестве вяжущего материала предпочтительно использовать ПЦ, в качестве добавок — бентонитовую глину для снижения выщелачивания радионуклидов и пластификаторы для повышения растекаемости цементного раствора, действие которых, однако, при содержании зольного остатка свыше 10—15% по массе малоэффективно.

Для определения технологических параметров омоноличивания ТРО, обеспечивающих требуемое качество приготовления цементного компаунда (матрица без пустот с характеристиками, соответствующими регламентированным требованиям), определены следующие критерии качества. Так как качество омоноличивания определяется степенью заполнения пустот между фрагментами ТРО цементным раствором по всему объему, то его критериями являются степень омоноличивания, как отношение объема использованного цементного раствора к пустотности насыпного объема отходов, и плотность цементного раствора после заполнения им объема отходов, которая должна соответствовать значениям, при которых обеспечиваются регламентированные свойства цементного компаунда в последнем слое.

На изменение плотности цементного раствора влияют такие факторы, как крупность фрагментов отходов и пустотность насыпного слоя, давление и скорость потока цементного раствора, его растекаемость (вязкость) и стойкость к

расслаиванию при фильтрации через слой отходов, на которые, в свою очередь, влияют состав раствора и размер частиц цемента и добавок.

Практика показала, что пустотность для разного вида ТРО составляет 42–58%. По размеру фрагментов ТРО можно условно классифицировать на крупнофрагментированные (размер фрагментов свыше 100–150 мм и пустотность насыпного слоя выше 50%), отходы с плотной упаковкой насыпного слоя (средний размер фрагментов около 75 мм, пустотность около 50%), мелкодисперсные отходы (размер фрагментов 0,5–10 мм, пустотность менее 50%).

В настоящее время наиболее технологически отработан способ омоноличивания ТРО с использованием в качестве матричного материала композиций на основе портландцемента. Это обусловлено простотой реализации технологического процесса, низкой стоимостью, доступностью, гарантированными свойствами портландцемента и его совместимостью с большинством материалов РАО.

Проливка может применяться для ТРО с размером фрагментов более 100–150 мм. После проливки обязательно виброуплотнение цементного компаунда для полного заполнения пустот между фрагментами отходов. Следует учитывать, что после виброуплотнения происходит изменение уровня цементного раствора. Так, при использовании ПЦ для приготовления раствора, снижение уровня достигает 7–8%. Кроме того, отрицательным эффектом виброуплотнения является отслаивание жидкой фазы

на поверхности компаунда объемом до 5–7%. На практике контроль омоноличивания и качества цементного раствора в нижних слоях отходов невозможен, что является недостатком проливки. Для эффективного виброуплотнения предпочтительно использовать контейнеры объемом не более 200 л. Для повышения качества проливки необходимо использовать ПЦ с добавками ТМЦ до 30%, стабилизаторы и пластификаторы цементного раствора, что позволяет снизить изменение уровня цементного раствора в контейнере после виброуплотнения до 1–3%.

Для повышения эффективности омоноличивания разного вида ТРО разработан метод пропитки, основанный на подаче цементного раствора под давлением через зонд в донную часть контейнера с отходами [8]. Цементный раствор, равномерно поднимаясь снизу вверх, заполняет пустоты между фрагментами отходов.

Первичным параметром, обеспечивающим требуемое качество приготовления цементного компаунда пропиткой, является изменение плотности цементного раствора при прохождении его через объем отходов, так как время схватывания растворов значительно больше продолжительности технологических циклов омоноличивания [2].

Изменение плотности цементного раствора зависит от его исходных характеристик, таких как растекаемость и стойкость к расслаиванию при фильтрации, которые в свою очередь зависят от водоцементного отношения, размера

Таблица 2. Параметры цементирования проливкой крупнофрагментированных ТРО в бочках объемом 200 л [7]

Цемент	Добавка, % массы цемента	Отношение раствор/цемент	Прочность на сжатие на 28 сутки, МПа	Изменение уровня цементного раствора после виброуплотнения, об. % (см)	Отслаивание воды после виброуплотнения, об. %
ПЦ	-	0,6	27,5	7 (6)	6
	-	0,7	17,8	5 (4)	7
	Бентонит, 5	0,6	22,4	8 (7)	4
		0,7	16,4	6 (5)	6
	Стабилизатор, 1 Пластификатор 0,5	0,6	23,2	7 (6)	4
		0,7	18,6	5 (4)	5
	ТМЦ, 30	0,7	22,4	3 (2,5)	2
	Бентонит, 5 Тонкомолотый цемент, 30	0,7	20,3	2 (1,5)	1
Бентонит, 5 Стабилизатор, 1 Тонкомолотый цемент, 30	0,7	19,1	1 (1)	0	
ТМЦ	Бентонит, 5 Стабилизатор, 1 Пластификатор 0,5	0,8	29	0	0

частиц цемента, применения пластифицирующих, стабилизирующих и других добавок.

Состав цементных композиций и характеристики технологических процессов, рекомендуемые для омоноличивания ТРО пропиткой, полученные в результате промышленных испытаний, представлены в табл. 3. В качестве вяжущего материала для мелкодисперсных отходов необходимо использовать ТМЦ $S_{уд} 10000-12000 \text{ см}^2/\text{г}$, для плотноупакованных и крупногабаритных обычный ПЦ с добавкой ТМЦ.

Для периодического технологического процесса омоноличивания ТРО в контейнерах порционный режим приготовления цементного раствора в емкостных смесителях обеспечивает требуемое качество цементного раствора и является предпочтительным.

Были разработаны технологические процессы и оборудование для цементирования зольного остатка от сжигания горючих РАО, омоноличивания плотноупакованных и крупногабаритных ТРО в контейнерах объемом 0,2, 1,4, 2,7 и 3 м³

[9–11] (рис. 1). При этом использовался цементный раствор, обладающий высокой проникающей способностью, характеризующийся тем, что в качестве вяжущего материала в зависимости от вида ТРО применяется ТМЦ с $S_{уд} = 10000 \text{ см}^2/\text{г}$ и выше или ПЦ с добавками ТМЦ.

Способ пропитки является предпочтительным для цементирования всех рассмотренных видов ТРО. В цементный компаунд этим способом можно включить в 2–2,2 раза больше мелкодисперсных отходов (например, зольного остатка) по сравнению со способом перемешивания. Кроме того, при его использовании не предъявляются жестких требований к однородности размеров частиц перерабатываемых РАО. Цементирование пропиткой плотноупакованных и крупногабаритных ТРО гарантирует омоноличивание нижних слоев отходов в контейнере и поддается контролю путем определения степени пропитки и плотности цементного раствора, прошедшего через слой отходов.

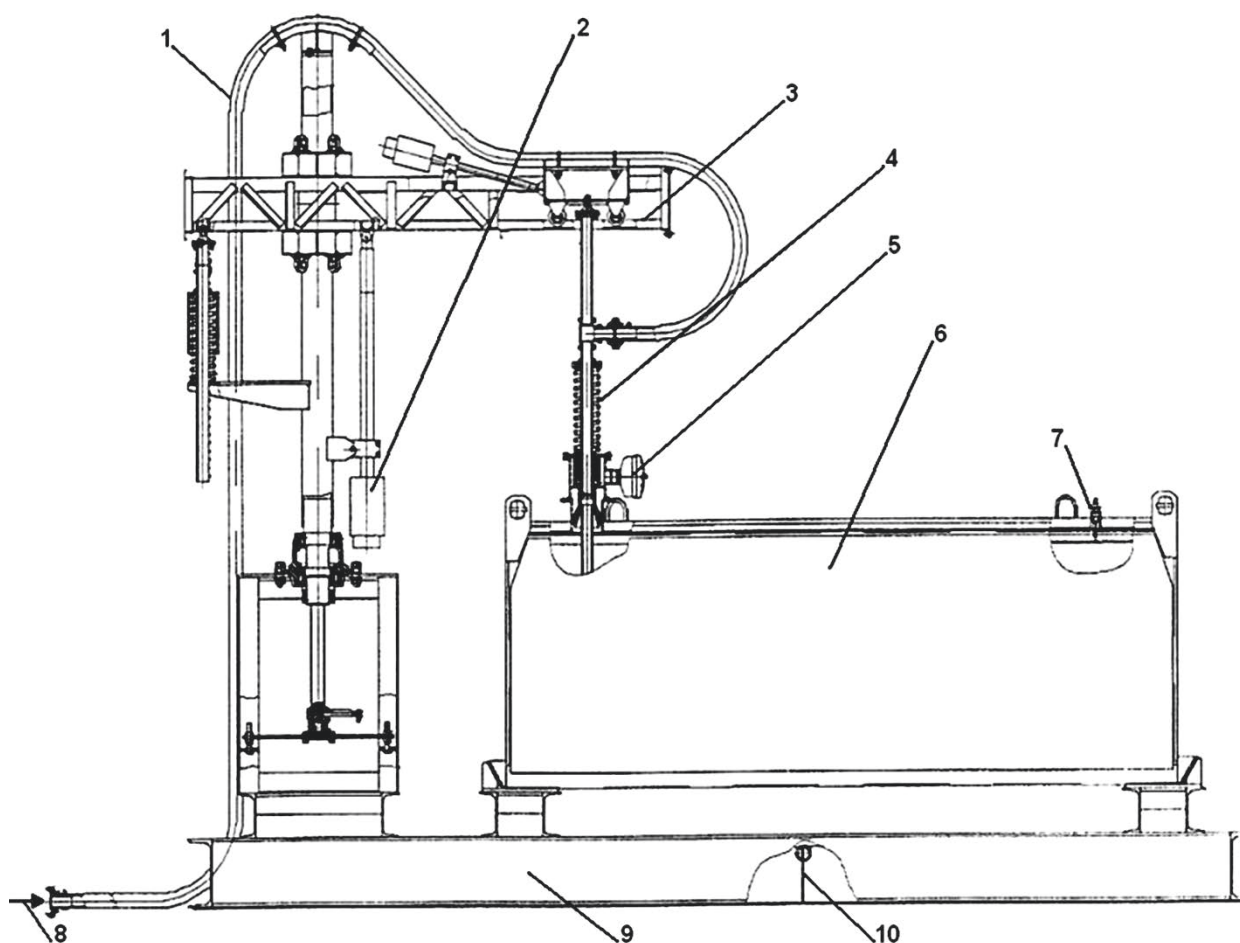


Рис. 1. Технологическая схема установки для омоноличивания РАО методом пропитки:

- 1 – трубопровод подачи цементного раствора; 2 – электрический привод; 3 – стрела; 4 – система стыковочная; 5 – фильтр воздушный; 6 – контейнер; 7 – датчик уровня; 8 – подача цементного раствора; 9 – станина; 10 – поддоны

Таблица 3. Состав цементных композиций и характеристики технологических процессов омоноличивания ТРО [7]

Параметр		Зольный остаток		ТРО со средним размером фрагментов, мм		Илы	
				75	100–150		
		Цементирование					
		Пропитка	Перемешивание	Пропитка	Проливка	Пропитка	Перемешивание
		ТМЦ	ПЦ				
Добавка, % общей массы сухих компонентов	стабилизатор	1–2	–	1–2	1–2	1–2	–
	бентонит	1–2	2–3	2–10	2–10	2–10	–
	пластификатор	0,1–0,5	1–2	0,1–0,5	1–2	0,1–0,5	–
	ТМЦ	–	–	20–40	10–40	10–30	–
Водоцементное отношение		0,6–0,9	0,8–0,9	0,6–0,9	0,7–0,9	0,6–0,9	0,5–0,6
Растекаемость, мм		160–240	110–130	180–240	190–240	180–240	110–130
Максимальное включение отходов, % по массе		75	30	100% по объему			20
Технологические параметры при пропитке*:							
давление, МПа		0,02–0,1	–	0,02–0,1	–	0,02–0,05	–
линейная скорость, см/мин		4–8	–	6–10	–	6–20	–
изменение плотности цементного раствора, %		4–6	–	2–6	–	1–4	–
объем контейнеров, л		100–200	100–500	до 3000	200–1000	до 3000	200–500

*Представлены параметры пропитки для контейнеров рекомендуемых объемов.

При цементировании разного вида ТРО предлагается использовать два вида многокомпонентных композиций, один из которых применяется для цементирования мелкодисперсных РАО методом пропитки, другой – для крупнофрагментированных и прессованных отходов проливкой. Цементная композиция для мелкодисперсных отходов содержит ТМЦ, бентонитовую глину, стабилизатор, пластификатор (% по массе: 96–98, 1–2, 1–2, до 0,5 соответственно). Цементная композиция для крупнофрагментированных ТРО – ПЦ и бентонитовую глину в количестве 5–10% по массе. При цементировании плотноупакованных ТРО в зависимости от объема контейнера, крупности и плотности упаковки фрагментов отходов обе композиции смешиваются между собой в соотношениях, позволяющих обеспечить необходимые технологические параметры.

Заключение

Метод омоноличивания ТРО с использованием цементных матриц позволяет кондиционировать различные виды отходов и является наиболее технологически отработанным. Применение различных составов вяжущей смеси обеспечивает возможность выбора наиболее оптимальных способов и технологических

параметров ведения процесса, исходя из состава и свойств перерабатываемых отходов. Наибольшей эффективностью обладает способ кондиционирования отходов пропиткой, который позволяет осуществлять объективный контроль процесса с обеспечением качества конечного продукта, получать компаунды с высоким наполнением РАО и максимально использовать полезный объем контейнера.

Литература

1. НП-093-14. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии «Критерии приемлемости радиоактивных отходов для захоронения». М. : Ростехнадзор, 2014. 24 с.
2. Варлаков А. П. Научное обоснование унифицированной технологии цементирования радиоактивных отходов. Автореферат диссертации на соискание ученой степени докт. техн. наук. Москва. 2011. 51 с.
3. Захоронение радиоактивных отходов Конкретные требования безопасности № SSR-5 – Вена: МАГАТЭ, 2007. 104 с.
4. НП-020-15. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии «Сбор, переработка, хранение и кондиционирование твердых радиоактивных отходов. Требования безопасности».

5. ГОСТ Р 51883–2002. Отходы радиоактивные цементированные. Общие технические требования. М. : Госстандарт России, 2002.

6. НП-019-15. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии «Сбор, переработка, хранение и кондиционирование жидких радиоактивных отходов. Требования безопасности».

7. Варлаков А. П. Разработка унифицированного технологического процесса цементирования твердых радиоактивных отходов // Атомная энергия. 2011. Т. 110. № 1. С. 30–35.

8. Пат. 2142657, Российская Федерация, МКИ⁶ G 21 F 9/28, G 21 F 9/16. Способ цементирования твердых радиоактивных отходов, содержащих мелкозернистые материалы / Соболев И. А., Барин А. С., Лифанов Ф. А., Варлаков А. П., Ковальский Е. А., Горбунова О. А.; заявитель и патентообладатель МосНПО «Радон». № 98117020/06; заявл. 03.09.98; опубл. 10.12.99. Бюл. № 34. 5 с.

9. Пат. 2199164 С2. Российская Федерация, МПК⁷ G 21 F 9/28. Устройство для цементирования пропиткой мелкодисперсных радиоактивных и токсичных отходов / Варлаков А. П., Горбунова О. А., Невров Ю. В., Лифанов Ф. А., Барин А. С.; заявитель и патентообладатель МосНПО «Радон». № 2005141019/06; заявл. 28.12.2005; опубл. 20.06.2007. Бюл. № 17. 10 с. : ил.

сичных отходов / Варлаков А. П., Горбунова О. А., Невров Ю. В., Лифанов Ф. А., Барин А. С.; заявитель и патентообладатель МосНПО «Радон». № 2001110423/06; заявл. 18.04.01; опубл. 20.02.2003. Бюл. № 5. 8 с. : ил.

10. Пат. 2218619 С1. Российская Федерация, МПК⁷ G 21 F 9/16. Смесительное устройство для приготовления цементного раствора на основе радиоактивных отходов / Варлаков А. П., Невров Ю. В., Карлин С. В., Барин А. С., Дмитриев С. А., Лифанов Ф. А.; заявитель и патентообладатель ГУП МосНПО «Радон». № 2002115435/06; заявл. 11.06.2002; опубл. 10.12.2003. Бюл. № 34. 6 с. : ил.

11. Пат. 2301468 С1. Российская Федерация, МПК G 21 F 9/36. Устройство для цементирования пропиткой мелкодисперсных радиоактивных и токсичных отходов / Дмитриев С. А., Варлаков А. П., Невров Ю. В., Горбунова О. А., Барин А. С., Матвеев В. Г., Щанов Е. В., Симонов В. И.; заявитель и патентообладатель ГУП МосНПО «Радон». № 2005141019/06; заявл. 28.12.2005; опубл. 20.06.2007. Бюл. № 17. 10 с. : ил.

Информация об авторах

Варлаков Андрей Петрович, доктор технических наук, директор отделения, АО «Высокотехнологический научно-исследовательский институт им. академика А. А. Бочвара» (123098, Москва, ул. Рогова, д. 5а), e-mail: APVarlakov@bochvar.ru.

Барин Александр Сергеевич, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН (115191, Москва, Большая Тульская ул., д. 52), e-mail: barinov@ibrae.ac.ru.

Библиографическое описание статьи

Варлаков А. П., Барин А. С. Кондиционирование твердых радиоактивных отходов с использованием цементных матриц // Радиоактивные отходы. 2020. № 4 (13). С. 71–79. DOI: 10.25283/2587-9707-2020-4-71-79.

CONDITIONING OF SOLID RADIOACTIVE WASTE USING CEMENT MATRIX

Varlakov A. P.¹, Barinov A. S.²

¹JSC «High-technology scientific research institute of inorganic materials named after A. A. Bochvar», Moscow, Russia

²Nuclear Safety Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Article received on November 14, 2020

The article discusses solid radioactive waste conditioning using cement matrix. It considers grouting methods for the waste of different composition and fragment size. It provides cement formulations for various types of waste being

cemented by mixing, impregnation and pouring. The study shows that the impregnation method can be considered as a most effective option for solid waste conditioning using cement mortars.

Keywords: radioactive waste, cement matrix, cement compositions, solidification of solid radioactive waste.

References

1. NP-093-14. Federal'nyye normy i pravila v oblasti ispol'zovaniya atomnoy energii. Kriterii priyemlosti radioaktivnykh otkhodov dlya zakhoroneniya [Federal norms and rules in the field of atomic energy use. Radioactive Waste Acceptance Criteria for Disposal]. Moscow, Rostekhnadzor Publ., 2014. 24 p.
2. Varlakov A. P. Nauchnoye obosnovaniye unifikirovannoy tekhnologii tsementirovaniya radioaktivnykh otkhodov [Scientific Substantiation for a Unified Radioactive Waste Cementation Technology]. Dr. techn. sci. diss. Moscow, 2011. 51 p.
3. Zahoroneniye radioaktivnykh otkhodov. Konkretnye trebovaniya bezopasnosti [Disposal of radioactive waste Specific safety requirements]. No. SSR-5. Vienna: IAEA, 2007, 104 p.
4. NP-020-15. Federal'nyye normy i pravila v oblasti ispol'zovaniya atomnoy energii. Sbor, pererabotka, khraneniye i konditsionirovaniye tvordykh radioaktivnykh otkhodov. Trebovaniya bezopasnosti [Federal norms and rules in the field of atomic energy use. Collection, Processing, Storage and Conditioning of Solid Radioactive Waste. Safety requirements].
5. GOST R 51883-2002. Otkhody radioaktivnyye tsementirovannyye. Obshchiye tekhnicheskiye trebovaniya [Cemented Radioactive Waste. General Technical Requirements]. Moscow, Gosstandart Rossii Publ., 2002.
6. NP-019-15. Federal'nyye normy i pravila v oblasti ispol'zovaniya atomnoy energii. Sbor, pererabotka, khraneniye i konditsionirovaniye zhidkikh radioaktivnykh otkhodov. Trebovaniya bezopasnosti [Federal norms and rules in the field of atomic energy use Collection, Processing, Storage and Conditioning of Liquid Radioactive Waste. Safety requirements].
7. Varlakov A. P. Razrabotka unifikirovannogo tekhnologicheskogo protsessa tsementirovaniya tvordykh radioaktivnykh otkhodov [Development of a Unified Engineering Process for Solid Radioactive Waste Cementation]. *Atomnaya energiya — Atomic energy*, 2011, vol. 110, no. 1, pp. 30–35.
8. Sposob tsementirovaniya tvordykh radioaktivnykh otkhodov, sodержashchikh melkozernistyye materialy [Cementing Method for Solid Radioactive Waste Containing Fine-Grained Materials]. Pat. 2142657 Russian Federation, MKI⁶ G 21 F 9/28, G 21 F 9/16. / Sobolev I. A., Barinov A. S., Lifanov F. A., Varlakov A. P., Kovalsky E. A., Gorbunova O. A.; Applicant and patent holder — State Unitary Enterprise MosNPO Radon — No. 98117020/06; application date: 03.09.1998; publication date 10.12.1999.
9. Ustroystvo dlya tsementirovaniya propitkoy melkodispersnykh radioaktivnykh i toksichnykh otkhodov [Cementation Device Using Impregnation Method for Fine Radioactive and Toxic Waste]. Pat. 2199164 C2 Russian Federation, MPK⁷ G 21 F 9/28. / Varlakov A. P., Gorbunova O. A., Nevrov Yu. V., Lifanov F. A., Barinov A. S.; Applicant and patent holder — State Unitary Enterprise MosNPO Radon — No. 2001110423/06; application date 18.04.2001; publication date 20.02.2003.
10. Smesitel'noye ustroystvo dlya prigotovleniya tsementnogo rastvora na osnove radioaktivnykh otkhodov [Mixing Device for the Preparation of Cement Mortar Based on Radioactive Waste]. Pat. 2218619 C1 Russian Federation, MPK⁷ G 21 F 9/16. / Varlakov A. P., Nevrov Yu. V., Karlin S. V., Barinov A. S., Dmitriev S. A., Lifanov F. A.; Applicant and patent holder — State Unitary Enterprise MosNPO Radon — No. 2002115435/06; application date 11.06.2002; publication date 10.12.2003.
11. Cementation Device Using Fine Radioactive and Toxic Waste Impregnation Method. Pat. 2301468 C1 Russian Federation, IPC G 21 F 9/36. / Dmitriev S. A., Varlakov A. P., Nevrov Yu. V., Gorbunova O. A., Barinov A. S., Matveev V. G., Shchanov E. V., Simonov V. I.; Applicant and patent holder — State Unitary Enterprise MosNPO Radon — No. 2005141019/06; application date 28.12.2005; publication date 20.06.2007.

Information about the authors

Varlakov Andrej Petrovich, Doctor of Sciences, Director of Department, JSC “High-technology scientific research institute of inorganic materials named after A. A. Bochvar” (5a, Rogova st., Moscow, 123098, Russia), e-mail: APVarlakov@bochvar.ru.

Barinov Aleksandr Sergeevich, PhD, Senior Researcher, Nuclear Safety Institute of the Russian Academy of Sciences (52, Bolshaya Tulsкая st., Moscow, 115191, Russia), e-mail: barinov@ibrae.ac.ru.

Bibliographic description

Varlakov A. P., Barinov A. S. Conditioning of Solid Radioactive Waste Using Cement Matrix. *Radioactive waste*, 2020, no. 4 (13), pp. 71–79. DOI: 10.25283/2587-9707-2020-4-71-79. (In Russian).