

Серия изданий МАГАТЭ по ядерной энергии

№. NW-T-1.8

Основные
принципы

Цели

Руководства

Технические
доклады

**Мобильные системы
переработки для
обращения с
радиоактивными
отходами**



IAEA

Международное агентство по атомной энергии

ПУБЛИКАЦИИ СЕРИИ ИЗДАНИЙ МАГАТЭ ПО ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГИИ

СТРУКТУРА СЕРИИ ИЗДАНИЙ МАГАТЭ ПО ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГИИ

В соответствии с положениями статей III.A.3 и VIII.C Устава МАГАТЭ уполномочено «способствовать обмену научными и техническими сведениями о применении атомной энергии в мирных целях». В публикациях **Серии изданий МАГАТЭ по ядерной энергии** представлены положительная практика и технологические достижения, практические примеры и опыт в сфере ядерных реакторов, ядерного топливного цикла, обращения с радиоактивными отходами и вывода из эксплуатации, а также общие вопросы, относящиеся к ядерной энергии. Структура **Серии изданий МАГАТЭ по ядерной энергии** подразделяется на четыре уровня.

- 1) Публикации, обозначенные в Серии изданий по ядерной энергии как **«Основные принципы»**, содержат изложение смысла и концепции использования ядерной энергии в мирных целях.
- 2) В публикациях, обозначенных в Серии изданий по ядерной энергии как **«Цели»**, описываются вопросы, которые следует учитывать, и конкретные цели, которые должны быть достигнуты в тематических областях на различных этапах осуществления.
- 3) В публикациях, обозначенных в Серии изданий по ядерной энергии как **«Руководства и методологии»**, предлагаются руководящие принципы высокого уровня или методические рекомендации о том, какими способами можно достичь целей, определенных в рамках различных тем и областей, касающихся использования ядерной энергии в мирных целях.
- 4) В публикациях, обозначенных в Серии изданий по ядерной энергии как **«Технические доклады»**, предоставляется более полная и подробная информация о деятельности, осуществляемой в областях, исследуемых в **Серии изданий МАГАТЭ по ядерной энергии**.

Для публикаций в серии изданий МАГАТЭ по ядерной энергии применяются следующие обозначения: **NG** — ядерная энергия, общие вопросы; **NR** — ядерные реакторы (ранее **NP** — ядерная энергетика); **NF** — ядерный топливный цикл; **NW** — обращение с радиоактивными отходами и вывод из эксплуатации. Публикации размещены также на сайте МАГАТЭ по адресу:

<https://www.iaea.org/ru/publikacii>

Для получения дополнительной информации просьба обращаться в МАГАТЭ по адресу: Vienna International Centre, PO Box 100, 1400 Vienna, Austria.

Предлагаем всем пользователям материалов, выходящих в Серии изданий МАГАТЭ по ядерной энергии, поделиться с МАГАТЭ своим опытом их использования, что поможет обеспечить соответствие этих материалов потребностям пользователей и в дальнейшем. Эта информация может быть направлена через сайт МАГАТЭ, по почте или по электронной почте на адрес Official.Mail@iaea.org.

МОБИЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ
ПЕРЕРАБОТКИ ДЛЯ ОБРАЩЕНИЯ С
РАДИОАКТИВНЫМИ ОТХОДАМИ

Членами Международного агентства по атомной энергии являются следующие государства:

| | | |
|--|--|--|
| АВСТРАЛИЯ | КАЗАХСТАН | РЕСПУБЛИКА МОЛДОВА |
| АВСТРИЯ | КАМБОДЖА | РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ |
| АЗЕРБАЙДЖАН | КАМЕРУН | РУАНДА |
| АЛБАНИЯ | КАНАДА | РУМЫНИЯ |
| АЛЖИР | КАТАР | САЛЬВАДОР |
| АНГОЛА | КЕНИЯ | САМОА |
| АНТИГУА И БАРБУДА | КИПР | САН-МАРИНО |
| АРГЕНТИНА | КИТАЙ | САУДОВСКАЯ АРАВИЯ |
| АРМЕНИЯ | КОЛУМБИЯ | СВЯТОЙ ПРЕСТОЛ |
| АФГАНИСТАН | КОМОРСКИЕ ОСТРОВА | СЕВЕРНАЯ МАКЕДОНИЯ |
| БАГАМСКИЕ ОСТРОВА | КОНГО | СЕЙШЕЛЬСКИЕ ОСТРОВА |
| БАНГЛАДЕШ | КОРЕЯ, РЕСПУБЛИКА | СЕНЕГАЛ |
| БАРБАДОС | КОСТА-РИКА | СЕНТ-ВИНСЕНТ И ГРЕНАДИНЫ |
| БАХРЕЙН | КОТ-Д'ИВУАР | СЕНТ-КИТС И НЕВИС |
| БЕЛАРУСЬ | КУБА | СЕНТ-ЛЮСИЯ |
| БЕЛИЗ | КУВЕЙТ | СЕРБИЯ |
| БЕЛЬГИЯ | КЫРГЫЗСТАН | СИНГАПУР |
| БЕНИН | ЛАОССКАЯ НАРОДНО- ДЕМОКРАТИЧЕСКАЯ РЕСПУБЛИКА | СИРИЙСКАЯ АРАБСКАЯ РЕСПУБЛИКА |
| БОЛГАРИЯ | ЛАТВИЯ | СЛОВАКИЯ |
| БОЛИВИЯ, МНОГОНАЦИОНАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВО | ЛЕСОТО | СЛОВЕНИЯ |
| БОСНИЯ И ГЕРЦЕГОВИНА | ЛИБЕРИЯ | СОЕДИНЕННОЕ КОРОЛЕВСТВО ВЕЛИКОБРИТАНИИ И СЕВЕРНОЙ ИРЛАНДИИ |
| БОТСВАНА | ЛИВАН | СОЕДИНЕННЫЕ ШТАТЫ АМЕРИКИ |
| БРАЗИЛИЯ | ЛИВИЯ | СУДАН |
| БРУНЕЙ-ДАРУССАЛАМ | ЛИТВА | СЪЕРРА-ЛЕОНЕ |
| БУРКИНА-ФАСО | ЛИХТЕНШТЕЙН | ТАДЖИКИСТАН |
| БУРУНДИ | ЛЮКСЕМБУРГ | ТАИЛАНД |
| ВАНУАТУ | МАВРИКИЙ | ТОГО |
| ВЕНГРИЯ | МАВРИТАНИЯ | ТОНГА |
| ВЕНЕСУЭЛА, БОЛИВАРИАНСКАЯ РЕСПУБЛИКА | МАДАГАСКАР | ТРИНИДАД И ТОБАГО |
| ВЬЕТНАМ | МАЛАВИ | ТУНИС |
| ГАБОН | МАЛАЙЗИЯ | ТУРКМЕНИСТАН |
| ГАИТИ | МАЛИ | ТУРЦИЯ |
| ГАЙАНА | МАЛЬТА | УГАНДА |
| ГАНА | МАРОККО | УЗБЕКИСТАН |
| ГВАТЕМАЛА | МАРШАЛЛОВЫ ОСТРОВА | УКРАИНА |
| ГЕРМАНИЯ | МЕКСИКА | УРУГВАЙ |
| ГОНДУРАС | МОЗАМБИК | ФИДЖИ |
| ГРЕНАДА | МОНАКО | ФИЛИППИНЫ |
| ГРЕЦИЯ | МОНГОЛИЯ | ФИНЛЯНДИЯ |
| ГРУЗИЯ | МЬЯНМА | ФРАНЦИЯ |
| ДАНИЯ | НАМИБИЯ | ХОРВАТИЯ |
| ДЕМОКРАТИЧЕСКАЯ РЕСПУБЛИКА КОНГО | НЕПАЛ | ЦЕНТРАЛЬНОАФРИКАНСКАЯ РЕСПУБЛИКА |
| ДЖИБУТИ | НИГЕР | ЧАД |
| ДОМИНИКА | НИГЕРИЯ | ЧЕРНОГОРИЯ |
| ДОМИНИКАНСКАЯ РЕСПУБЛИКА | НИДЕРЛАНДЫ | ЧЕШСКАЯ РЕСПУБЛИКА |
| ЕГИПЕТ | НИКАРАГУА | ЧИЛИ |
| ЗАМБИЯ | НОВАЯ ЗЕЛАНДИЯ | ШВЕЙЦАРИЯ |
| ЗИМБАБВЕ | НОРВЕГИЯ | ШВЕЦИЯ |
| ИЗРАИЛЬ | ОБЪЕДИНЕННАЯ РЕСПУБЛИКА ТАНЗАНИЯ | ШРИ-ЛАНКА |
| ИНДИЯ | ОБЪЕДИНЕННЫЕ АРАБСКИЕ ЭМИРАТЫ | ЭКВАДОР |
| ИНДОНЕЗИЯ | ОМАН | ЭРИТРЕЯ |
| ИОРДАНИЯ | ПАКИСТАН | ЭСВАТИНИ |
| ИРАК | ПАЛАУ | ЭСТОНИЯ |
| ИРАН, ИСЛАМСКАЯ РЕСПУБЛИКА | ПАНАМА | ЭФИОПИЯ |
| ИРЛАНДИЯ | ПАПУА — НОВАЯ ГВИНЕЯ | ЮЖНАЯ АФРИКА |
| ИСЛАНДИЯ | ПАРАГВАЙ | ЯМАЙКА |
| ИСПАНИЯ | ПЕРУ | ЯПОНИЯ |
| ИТАЛИЯ | ПОЛЬША | |
| ЙЕМЕН | ПОРТУГАЛИЯ | |

Устав Агентства был утвержден 23 октября 1956 года на Конференции по выработке Устава МАГАТЭ, которая состоялась в Центральных учреждениях Организации Объединенных Наций в Нью-Йорке. Устав вступил в силу 29 июля 1957 года. Центральные учреждения Агентства находятся в Вене. Главной целью Агентства является достижение «более скорого и широкого использования атомной энергии для поддержания мира, здоровья и благосостояния во всем мире».

СЕРИЯ ИЗДАНИЙ МАГАТЭ ПО ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГИИ, № NW-T-1.8

МОБИЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ
ПЕРЕРАБОТКИ ДЛЯ ОБРАЩЕНИЯ С
РАДИОАКТИВНЫМИ ОТХОДАМИ

МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ,
ВЕНА, 2022

УВЕДОМЛЕНИЕ ОБ АВТОРСКОМ ПРАВЕ

Все научные и технические публикации МАГАТЭ защищены положениями Всемирной конвенции об авторском праве, принятой в 1952 году (Берн) и пересмотренной в 1972 году (Париж). Впоследствии авторские права были распространены Всемирной организацией интеллектуальной собственности (Женева) также на интеллектуальную собственность в электронной и виртуальной форме. Для полного или частичного использования текстов, содержащихся в печатных или электронных публикациях МАГАТЭ, должно быть получено разрешение, которое обычно оформляется соглашениями типа роялти. Предложения о некоммерческом воспроизведении и переводе приветствуются и рассматриваются в каждом случае в отдельности. Вопросы следует направлять в Издательскую секцию МАГАТЭ по адресу:

Группа маркетинга и сбыта (Marketing and Sales Unit)
Издательская секция
Международное агентство по атомной энергии
Венский международный центр,
а/я 100,
А1400 Вена, Австрия
Факс: +43 1 26007 22529
Тел.: +43 1 2600 22417
Эл. почта: sales.publications@iaea.org
<https://www.iaea.org/ru/publikacii>

© МАГАТЭ, 2022 год
Отпечатано МАГАТЭ в Австрии
Ноябрь 2022 года
STI/PUB/1621

МОБИЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ПЕРЕРАБОТКИ ДЛЯ
ОБРАЩЕНИЯ С РАДИОАКТИВНЫМИ ОТХОДАМИ
МАГАТЭ, 2022 ГОД
STI/PUB/1621
ISBN 978–92–0–423421–3 (печатный формат)
ISBN 978–92–0–423521–0 (формат pdf)
ISSN 2664–4886

ПРЕДИСЛОВИЕ

Одной из уставных целей МАГАТЭ является достижение «более скорого и широкого использования атомной энергии для поддержания мира, здоровья и благосостояния во всем мире». Одним из способов достижения этой цели является публикация ряда серий изданий по техническим вопросам. Две из них — это Серия изданий МАГАТЭ по ядерной энергии и Серия норм безопасности МАГАТЭ.

Согласно статье III.A.6 Устава МАГАТЭ, издания Серии норм безопасности устанавливают «нормы безопасности для охраны здоровья и сведения к минимуму опасностей для жизни и имущества». Нормы безопасности включают публикации категорий «Основы безопасности», «Требования безопасности» и «Руководства по безопасности». Эти нормы составлены в первую очередь в стиле регулирующих документов и являются обязательными для МАГАТЭ в отношении его собственных программ. Основными пользователями являются регулирующие органы в государствах-членах и другие национальные компетентные органы.

Серия изданий МАГАТЭ по ядерной энергии состоит из докладов, цель которых — способствовать и содействовать НИОКР в области применения ядерной энергии в мирных целях, а также практическому применению ядерной энергии в мирных целях. В них приводятся практические примеры для использования, в частности, владельцами и операторами энергокомпаний в государствах-членах, организациями-исполнителями, научными кругами и правительственными должностными лицами. Эта информация изложена в форме руководств, докладов о положении дел и достижениях в области технологий, а также примеров наилучшей практики использования ядерной энергии в мирных целях, предоставленных международными экспертами. Серию норм безопасности МАГАТЭ дополняет Серия изданий МАГАТЭ по ядерной энергии.

Радиоактивные отходы образуются в результате эксплуатации атомных электростанций, установок топливного цикла и в ходе других ядерных применений. Они различаются по «видам отходов», имеющих различные характеристики.

В последнее время мобильные системы все чаще используются для обращения с потоками радиоактивных отходов перед захоронением (например, предварительной обработки, обработки и кондиционирования). Кроме того, соображения производительности, стоимости и гибкости могут сделать мобильные системы привлекательными для будущих ядерных установок.

В настоящей публикации содержатся руководящие материалы по оценке и реализации технологий переработки в мобильных применениях по переработке радиоактивных отходов. Она может применяться при осуществлении крупномасштабных, усовершенствованных, а также мало- и среднемасштабных программ обращения с отходами и использоваться для планирования и разработки стратегий программ, связанных с отходами.

МАГАТЭ подготовило несколько публикаций, в которых подробно описываются соответствующие технологии и их историческое развертывание, включая актуальные потоки отходов, формы отходов, описания оборудования, а также преимущества и ограничения. Эта информация, как правило, не воспроизводится в данной публикации, за исключением случаев, когда она требуется для уточнения или немедленной ссылки.

МАГАТЭ хотело бы выразить признательность всем тем, кто принимал участие в подготовке и публикации настоящего доклада. Сотрудниками МАГАТЭ, ответственными за проведение работ на начальном этапе, были В. Цыпленков и З. Дрейс из Отдела ядерного топливного цикла и технологии обращения с отходами. Сотрудником МАГАТЭ, ответственным за дальнейшую разработку и завершение публикации, был С.К. Саманта из того же отдела.

РЕДАКЦИОННОЕ ПРИМЕЧАНИЕ

Настоящая публикация была отредактирована редакционным персоналом МАГАТЭ в той степени, в какой это было сочтено необходимым для удобства читателей. В ней не затрагиваются вопросы ответственности — юридической или иного рода — за действия или бездействие со стороны какого-либо лица.

Хотя для обеспечения точности информации, содержащейся в настоящей публикации, были приложены большие усилия, ни МАГАТЭ, ни его государства-члены не несут ответственности за последствия, которые могут возникнуть в результате ее использования.

Использование тех или иных названий стран или территорий не означает какого-либо суждения со стороны издателя — МАГАТЭ — относительно правового статуса таких стран или территорий, их органов и учреждений либо относительно определения их границ.

Упоминание названий конкретных компаний или продуктов (независимо от того, указаны ли они как зарегистрированные) не означает какого-либо намерения нарушить права собственности и не должно рассматриваться как одобрение или рекомендация со стороны МАГАТЭ.

Авторы несут ответственность за получение необходимого разрешения, с тем чтобы МАГАТЭ могло воспроизводить, переводить или использовать материал из источников, уже защищенных авторскими правами.

МАГАТЭ не несет ответственности за постоянство и точность приводимых в настоящей книге адресов сайтов внешних или третьих сторон и не гарантирует того, что информационное наполнение таких сайтов является или останется точным и актуальным.

СОДЕРЖАНИЕ

| | | |
|--------|---|----|
| 1. | ВВЕДЕНИЕ | 1 |
| 1.1. | Общие сведения | 1 |
| 1.2. | Цель | 1 |
| 1.3. | Сфера охвата | 2 |
| 1.4. | Структура | 2 |
| 1.5. | Основные определения | 3 |
| 2. | ОЦЕНКА ПРИМЕНИМОСТИ МОБИЛЬНЫХ СИСТЕМ ПЕРЕРАБОТКИ | 4 |
| 2.1. | Примеры и ключевые особенности мобильных систем при переработке радиоактивных отходов | 4 |
| 2.1.1. | Возможности и преимущества | 4 |
| 2.1.2. | Ограничения | 7 |
| 2.2. | Применимость мобильных систем: методология оценки и принятие решения об имплементации | 7 |
| 2.2.1. | Предварительная оценка целесообразности использования мобильной системы (этап 1) | 8 |
| 2.2.2. | Подробная оценка имплементации мобильной системы (этап 2) | 11 |
| 2.2.3. | Пример двухэтапного процесса принятия решения | 11 |
| 3. | СИСТЕМЫ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ОТХОДОВ | 14 |
| 3.1. | Твердые отходы | 14 |
| 3.1.1. | Компактирование с низким усилием | 14 |
| 3.1.2. | Механическая дезактивация | 16 |
| 3.2. | Жидкие отходы | 24 |
| 3.2.1. | Химическая нейтрализация и осаждение | 24 |
| 4. | СИСТЕМЫ ОБРАБОТКИ ОТХОДОВ | 28 |
| 4.1. | Твердые отходы | 28 |
| 4.1.1. | Промывка грунта | 28 |
| 4.1.2. | Отделение кабельной изоляции | 34 |
| 4.2. | Жидкие и влажные твердые отходы | 37 |
| 4.2.1. | Дезактивация радиоактивных масел | 37 |
| 4.2.2. | Фильтрация | 42 |
| 4.2.3. | Фильтрация и ионный обмен | 46 |
| 4.2.4. | Фильтрация, мембранная и ионообменная | 50 |
| 4.2.5. | Селективный ионный обмен в системе удаления нуклидов | 56 |
| 4.2.6. | Обезвоживание отработанных ионообменных и фильтрующих сред | 61 |
| 4.2.7. | Сушка жидких и влажных твердых отходов в бочках | 65 |
| 4.3. | Газообразные отходы | 69 |
| 4.3.1. | Очистка отходящих газов | 69 |
| 5. | СИСТЕМЫ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ОТХОДОВ | 73 |
| 5.1. | Изъятые из употребления закрытые источники | 73 |

| | |
|--|-----|
| 5.1.1. Герметизация изъятых из употребления закрытых источников в металлической матрице. | 73 |
| 5.2. Жидкие и влажные твердые отходы | 79 |
| 5.2.1. Отверждение (цементирование)..... | 79 |
| 5.2.2. Герметизация отработанных ионообменных смол в полимерных вяжущих | 84 |
| 6. КОМБИНИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ ОБРАБОТКИ И КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ОТХОДОВ | 88 |
| 6.1. Твердые отходы | 88 |
| 6.1.1. Суперкомпактирование..... | 88 |
| 6.1.2. Уменьшение объема и упаковка активированных компонентов | 93 |
| 6.1.3. Остекловывание грунта на месте..... | 100 |
| 6.2. Изъятые из употребления закрытые источники | 104 |
| 6.2.1. Демонтаж и упаковка изъятых из употребления высокоактивных источников | 104 |
| 7. СИСТЕМЫ ХАРАКТЕРИЗАЦИИ ОТХОДОВ..... | 109 |
| 7.1. Неразрушающий анализ | 109 |
| 7.1.1. Система гамма-сканирования..... | 109 |
| 8. ВЫВОДЫ..... | 114 |
| СПРАВОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ | 117 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ I: ПРИМЕР ДЕТАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ ПО МОБИЛЬНОЙ СИСТЕМЕ ПЕРЕРАБОТКИ: СУПЕРКОМПАКТИРОВАНИЕ ТВЕРДЫХ МАТЕРИАЛОВ..... | 119 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ II: ПРИМЕР ДЕТАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ ПО МОБИЛЬНОЙ СИСТЕМЕ ПЕРЕРАБОТКИ: ФИЛЬТРАЦИЯ И ИОННЫЙ ОБМЕН ... | 129 |
| СОСТАВИТЕЛИ И РЕЦЕНЗЕНТЫ | 139 |
| СТРУКТУРА СЕРИИ ИЗДАНИЙ МАГАТЭ ПО ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГИИ | 140 |

1. ВВЕДЕНИЕ

1.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Во время работы атомных электростанций, установок топливного цикла и в ходе других ядерных применений образуются радиоактивные отходы. К ним относятся различные потоки жидких, твердых, газообразных и многофазных отходов, имеющие различные физические, химические и связанные с радиоактивностью характеристики. В программах по обращению с отходами обычно рассматриваются вопросы обращения с этими отходами, начиная с момента их образования и до захоронения.

Для предварительной обработки, обработки и кондиционирования этих потоков отходов имеется ряд технологий переработки. Соответствующие стратегии, технологии и актуальные вопросы безопасности подробно описаны в публикациях МАГАТЭ, включая публикации категорий Технических документов, Серии технических докладов, Серии изданий по ядерной энергии и Норм безопасности МАГАТЭ [1–15]. Как правило, эти технологии используются либо в рамках постоянно установленных стационарных систем на централизованных или имеющих на площадке установках для переработки отходов, либо в мобильной конфигурации. Централизованные стационарные установки представляют собой единый объект по переработке для нескольких пользователей в государстве, и при этом требуется транспортировка отходов на установку. И наоборот, расположенные на площадке стационарные или мобильные системы могут обеспечивать выбор и применение оптимальной технологии для конкретного потока отходов путем приближения технологического процесса к месту образования отходов. Кроме того, мобильные системы могут обеспечивать дополнительную гибкость благодаря совместному использованию оборудования несколькими площадками, на которых образуются отходы, для кампаний по переработке, продолжительность которых варьируется от весьма короткой до нескольких лет.

Термин «мобильная система переработки», используемый в данной публикации, относится к любой системе или компоненту по переработке радиоактивных отходов, которые предназначены для транспортировки и не считаются стационарно установленными [16].

Мобильные системы обладают определенными уникальными преимуществами. В некоторых случаях использование мобильной системы переработки может оказаться более предпочтительным вариантом по сравнению со стационарной системой переработки, — особенно в том, что касается технологических усовершенствований. Например, развертывание мобильной системы, которую можно легко модернизировать или заменить с сравнительно низкими затратами, делает мобильные технологии более привлекательными, чем обновления стационарных, постоянных систем. Подобным же образом, если существует вероятность частого изменения объема или характеристик потока отходов, использование технологии мобильной переработки в модульной форме, поддерживающей эффективное повышение производительности, или использование ее в стратегии переработки на основе кампаний, может оказаться более эффективным с точки зрения затрат и производительности.

При подготовке настоящей публикации использовались многочисленные источники, включая публикации МАГАТЭ и международную группу экспертов по обращению с радиоактивными отходами. Кроме того, в качестве консультативных материалов также использовались другие признанные отраслевые доклады и стандарты [16, 17]. Важную информацию о поставщиках можно также получить из различных источников и путем поиска литературы в Интернете.

1.2. ЦЕЛЬ

Основная цель данной публикации заключается в предоставлении базовой информации об использовании мобильных систем на различных этапах обращения с отходами перед

захоронением (например, предварительной обработки, обработки и кондиционирования) и в представлении методологии оценки, необходимой для определения целесообразности использования технологии мобильной переработки отходов для конкретных применений.

Кроме того, в данной публикации представлена информация для точной оценки мобильных систем, использующих одну или несколько технологий.

1.3. СФЕРА ОХВАТА

В этой публикации рассматриваются возможные области применения мобильных систем переработки эксплуатационных радиоактивных отходов атомных электростанций, установок топливного цикла и других применений радионуклидов, в том числе в промышленности, исследованиях, образовании и медицине. В ней описаны проверенные мобильные технологические процессы, которые могут использоваться на ядерной установке либо индивидуально, либо в качестве компонентов более сложной конфигурации для новых применений с целью модернизации или замены не отвечающей требованиям или устаревшей технологии. Методология оценки включает в себя соображения, связанные с выбором, применением, ограничениями и преимуществами мобильной технологии, а также помогает определить техническую и экономическую целесообразность внедрения мобильных систем вместо постоянных стационарных систем.

Настоящая публикация предназначена главным образом для специалистов по обращению с отходами, ответственных за выбор, проектирование и внедрение систем переработки отходов. Она также может быть полезной для регулирующих органов, ответственных за рассмотрение и лицензирование мобильных систем переработки отходов и возможных двухсторонних соглашений, касающихся совместного использования таких систем.

1.4. СТРУКТУРА

В разделе 2 данной публикации кратко описывается применимость мобильных систем переработки отходов и подробно излагаются их роль, возможности, преимущества и ограничения. В нем описан двухэтапный процесс оценки, который может быть использован, во-первых, для проверки возможности применения технологии переработки в мобильной конфигурации, а во-вторых, для подробного технического анализа возможности использования конкретной мобильной технологии.

В разделах 3–7 приведены иллюстрации и примеры мобильных систем переработки для предварительной обработки, обработки, кондиционирования, комбинированной обработки и кондиционирования, а также характеристики отходов. Представлены конкретные примеры переработки твердых, жидких, газообразных и многофазных потоков отходов, с тем чтобы дать представление о фактическом применении мобильных систем и основных соображениях при выборе для сравнения с постоянно установленными (стационарными) системами. Следует отметить, что описания основаны на сборе наилучшей доступной информации с целью иллюстрации современной практики. В разделе 8 изложены выводы.

В приложениях I и II приводятся примеры информации и параметров, которые должны использоваться при детальном техническом сравнительном анализе и должны быть включены в технические спецификации мобильной системы для закупок. Две системы, проиллюстрированные более подробно, — это мобильная система суперкомпактирования твердых отходов и мобильная система фильтрации и ионного обмена.

1.5. ОСНОВНЫЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Ниже приведен перечень некоторых основных определений, взятых из Глоссария МАГАТЭ по вопросам безопасности [18]:

- a) **Кондиционирование:** операции по изготовлению упаковки отходов, приемлемой для манипулирования, перевозки, хранения и/или захоронения. Кондиционирование может включать перевод отходов в твердую форму отходов, помещение отходов в контейнеры и при необходимости обеспечение дополнительной наружной упаковки (транспортного пакета).
- b) **Иммобилизация:** перевод отходов в определенную форму посредством их отверждения, включения в какую-либо матрицу или заключения в герметическую оболочку. Иммобилизация снижает возможность миграции или рассеивания радионуклидов в процессе манипулирования, перевозки, хранения и/или захоронения.
- c) **Операции перед захоронением:** все стадии обращения с отходами, выполняемые перед захоронением отходов, такие как операции по предварительной обработке, обработке, кондиционированию, хранению и перевозке.
- d) **Предварительная обработка:** любая операция или все операции, предшествующие обработке отходов, такие, как сбор, разделение, регулирование химического состава и дезактивация.
- e) **Переработка:** любая операция, изменяющая характеристики отходов, включая предварительную обработку, обработку и кондиционирование.
- f) **Разделение:** операции, посредством которых отходы или материалы (радиоактивные или на которые распространяется изъятие) различного типа разделяются (сортируются) или содержатся отдельно с учетом их радиологических, химических и/или физических свойств с целью облегчения обращения с отходами и/или их переработки.
- g) **Обработка:** операции, предназначенные для повышения безопасности и/или экономических показателей посредством изменения характеристик отходов. Тремя основными целями обработки являются:
 - i) сокращение (уменьшение) объема;
 - ii) удаление радионуклидов из отходов;
 - iii) изменение состава.

В результате обработки может быть получена соответствующая форма отходов. Если обработка не приводит к соответствующей форме отходов, отходы могут быть иммобилизованы.

- h) **Сокращение (уменьшение) объема:** метод обработки, который обеспечивает уменьшение физического объема отходов. Типичные методы сокращения (уменьшения) объема — это механическое компактирование, сжигание и выпаривание.
- i) **Определение характеристик отходов:** определение физических, химических и радиологических свойств отходов для выявления необходимости дальнейшей корректировки, обработки, кондиционирования или пригодности к дальнейшему манипулированию, переработке, хранению или захоронению.
- j) **Форма отходов:** отходы в своей физической и химической форме после обработки и/или кондиционирования (в результате чего образуется твердый продукт) перед их упаковкой. Форма отходов является элементом упаковки отходов.
- k) **Упаковка отходов:** конечный продукт кондиционирования, который включает форму отходов и любые контейнеры и внутренние барьеры (например, поглощающие материалы и облицовку), подготовленный в соответствии с требованиями к манипулированию, перевозке, хранению и/или захоронению.

2. ОЦЕНКА ПРИМЕНИМОСТИ МОБИЛЬНЫХ СИСТЕМ ПЕРЕРАБОТКИ

В разделе 2 содержится справочная информация и метод оценки конкретных применений для определения того, следует ли рассматривать мобильную систему переработки для внедрения вместо стационарной системы. Важно отметить, что конкретные детали, связанные с каждой потенциальной технологией переработки и применением, могут быть совершенно разными и что эту методологию следует применять итеративно для первоначальной и последующих оценок. Следует также отметить, что некоторые факторы, включенные в процесс принятия решений, являются весьма субъективными и не могут быть определены количественно (например, сложность и местные социальные факторы). Один или несколько этих факторов могут повлиять на результат оценки применимости. Кроме того, не все факторы будут применимы ко всем случаям оценки.

Важнейшим аспектом процесса принятия решений является оценка рисков и их понимание заинтересованными сторонами. Это понимание может значительно различаться в зависимости от способа внедрения технологий (например, стационарная установка или мобильная установка) и договоренностей относительно обращения с отходами (контракты без техобслуживания или с ним). Например, необходимо проводить сравнение рисков, связанных с транспортировкой мобильного перерабатывающего оборудования в несколько мест и с транспортировкой отходов на централизованную установку по переработке.

2.1. ПРИМЕРЫ И КЛЮЧЕВЫЕ ОСОБЕННОСТИ МОБИЛЬНЫХ СИСТЕМ ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ

Мобильные системы переработки играют важную роль в различных применениях обращения с отходами, от переработки уникальных или небольших объемов отходов до использования на атомных электростанциях и на установках топливного цикла в больших масштабах. Они рассматриваются в проектах усовершенствованных коммерческих энергетических реакторов нового поколения.

В настоящей публикации основное внимание уделяется технологиям переработки отходов, проверенным в мобильных применениях. Список этих технологий приведен в таблице 1 для быстрого ознакомления. Однако для получения дополнительной информации читателю рекомендуется изучить соответствующие справочные документы. Список не является исчерпывающим, и могут иметься другие существующие или новые технологии мобильной переработки, не рассмотренные в данной публикации или в перечисленных ниже справочных материалах. Однако представленная здесь методология оценки и выбора может быть применена в отношении любой перспективной технологии мобильной переработки.

2.1.1. Возможности и преимущества

Процесс оценки включает в себя анализ возможностей, преимуществ и потенциальных ограничений мобильной системы для сравнения с стационарными системами. Ниже перечислены наиболее важные возможности, преимущества и ограничения мобильных систем. Список не является всеобъемлющим и, кроме того, следует отметить, что соображения о возможностях, преимуществах и ограничениях являются специфическими для каждого случая:

- a) **Технология:** базовый технологический процесс, используемый в мобильных применениях, обычно аналогичен процессу, используемому в стационарной или постоянной конфигурации. Например, процесс мобильной ионообменной переработки зеркально отражает процесс,

используемый в постоянных установках, независимо от размера системы или стратегии внедрения. Наиболее очевидное различие заключается в возможности относительно простого использования, замены или перемещения мобильного оборудования.

- b) **Эксплуатационные параметры:** в большинстве применений мобильные технологии обеспечивают такой же уровень эксплуатационных параметров (например, коэффициентов уменьшения объема и дезактивации), как и в случае стационарной установки аналогичной производительности. Однако гибкость, которую обеспечивают мобильные системы, зачастую позволяет модернизировать технологии или изменять конфигурацию, что может приводить к более легкому улучшению эксплуатационных параметров. Во многих случаях также может быть облегчено внедрение мобильных технологий в поддержку пересмотра местных, региональных или национальных норм в сферах безопасности и борьбы с загрязнением.
- c) **Безопасность:** применимые нормы безопасности для мобильного оборудования различаются в зависимости от области применения и обычно связаны с требованиями к окружающим конструкциям, системам и элементам. В некоторых случаях требования безопасности могут быть менее жесткими (например, классификация по сейсмостойкости), чем требования в случае стационарных систем.
- d) **Стоимость:** в некоторых случаях стоимость использования предварительно изготовленной и уже лицензированной мобильной системы может быть меньше, чем та, что связана с проектированием, нормативной оценкой безопасности, изготовлением, строительством и эксплуатацией постоянной (стационарной) установки (например, использованием мобильного высокопроизводительного суперкомпактора для периодических коротких кампаний в сравнении с использованием постоянно установленного суперкомпактора, оптимизированного и эксплуатируемого с учетом годового количества образующихся отходов). Благодаря внедрению мобильной системы можно снизить стоимость управления конфигурацией в постоянных системах или структурных интерфейсах. В некоторых случаях мобильное оборудование может эксплуатироваться и обслуживаться поставщиком услуг, а дополнительное снижение расходов может быть связано с соответствующим сокращением числа квалифицированных постоянных сотрудников, необходимых для эксплуатации оборудования. Наконец, возможность внедрения мобильных систем в нескольких применениях позволяет снизить затраты на инвестиции, эксплуатацию и утилизацию благодаря распределению затрат между пользователями в рамках соглашения о закупках или лизинге.
- e) **Совместное использование:** мобильное оборудование изначально разрабатывается для облегчения перемещения в другие места на площадке и за ее пределами. Это также позволяет более эффективно использовать людские ресурсы и способствует эффективному обмену экспертными знаниями.
- f) **Аварийное реагирование:** некоторые мобильные системы переработки обладают уникальным преимуществом относительно быстрого развертывания в аварийных ситуациях или в качестве своевременной модернизации или замены существующих технологий.
- g) **Использование при выводе из эксплуатации и восстановлении:** мобильные системы могут применяться при проведении работ по выводу из эксплуатации, когда некоторые отходы могут подлежать обработке и кондиционированию на месте проведения работ по выводу из эксплуатации, а не переработке в специально отведенном месте. В большинстве случаев восстановление загрязненного грунта или ликвидация протечек радиоактивных жидкостей могут быть осуществлены с помощью мобильных систем.

ТАБЛИЦА 1. КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О ПРИМЕРАХ ИСПОЛЪЗУЕМЫХ ТЕХНОЛОГИЙ МОБИЛЬНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ

| | Технология | Физическое фазовое состояние потока отходов ^a | Государства-члены с примерами известных применений ^b |
|---------------------------|--|--|---|
| Предварительная обработка | Компактирование с низким усилием | Т | Российская Федерация, Соединенное Королевство, США |
| | Механическая дезактивация | Т | Индия, США |
| Обработка | Химическая нейтрализация/осаждение | Ж | США |
| | Промывка грунта | Т | Российская Федерация, США |
| | Отделение кабельной изоляции | Т | Германия, США |
| | Дезактивация радиоактивного масла | Ж | Канада, США |
| | Фильтрация | Ж | Российская Федерация, США |
| | Фильтрация и ионный обмен | Ж | Индия, Российская Федерация, Соединенное Королевство, США |
| | Фильтрация, мембранная и ионообменная | Ж | Российская Федерация |
| | Селективный ионный обмен в системе удаления нуклидов | Ж | Финляндия |
| | Обезвоживание отработанных ионообменных и фильтрующих сред | ВТ | Соединенное Королевство, США |
| | Сушка жидких и влажных твердых отходов в бочках | Ж, ВТ | США |
| Кондиционирование | Обработка отходящих газов | Г | Российская Федерация |
| | Герметизация изъятых из употребления закрытых источников в металлическую матрицу | Т | Российская Федерация |
| | Отверждение (цементирование) | Ж | Великобритания, Германия, Индия, Италия, Российская Федерация, Словакия, Франция, США |
| | Герметизация отработавших ионообменных смол в полимерных вяжущих | ВТ | Франция |
| | Суперкомпактирование | Т | Бразилия, Германия, Италия, Канада, Соединенное Королевство, США, Чешская Республика |
| | Уменьшение объема и упаковка активированных компонентов | Т | США |
| | Демонтаж и упаковка изъятых из употребления высокоактивных источников | Т | Южная Африка |
| | Остекловывание грунта на месте | Т | Австралия, США |
| | Система характеристики отходов | Т, Ж | Франция, Италия, США |

^a Г — газообразные; Ж — жидкие; Т — твердые; ВТ — влажные твердые.

^b Список известных применений не является исчерпывающим, здесь представлены только некоторые примеры.

2.1.2. Ограничения

Существует несколько аспектов внедрения мобильных технологий, которые могут ограничивать их потенциал:

- a) **Физическое расположение и размеры:** физическое расположение и размеры мобильных устройств ограничиваются с целью поддержки способа сборки и транспортировки (например, с установкой на салазках, в контейнере и на прицепе), а также любых средств локализации для защиты работников, населения и местной окружающей среды в соответствии с требованиями конкретной площадки и другими местными, национальными или международными нормативными актами. Поэтому необходимо также учитывать количество модулей или компонентов системы, которые необходимо транспортировать, и возможность их размещения на площадке.
- b) **Транспортировка:** размеры и вес должны соответствовать требованиям транспортировки с использованием коммерческих транспортных средств в соответствии с применимыми нормами и могут потребовать получения специальных разрешений, одобрения или лицензирования.
- c) **Деактивация:** перевозка ранее использованного радиоактивного загрязненного оборудования через региональные и международные границы увеличивает ответственность и может потребовать дезактивации внутреннего или внешнего оборудования.
- d) **Нагрузка на пол:** нагрузка, создаваемая системой и ее рабочей платформой (например, салазками и прицепом), включая накопившиеся, обработанные или кондиционированные отходы, не должна превышать ограничений по нагрузке на пол и может потребовать специальных мер по уплотнению или других мер по повышению устойчивости грунта в случае применений вне помещений.
- e) **Обращение с жидкими и газообразными выбросами:** внедрение мобильной системы переработки может потребовать принятия мер по сбору или мониторингу жидких и переносимых по воздуху эфлюентов. Это может привести к возникновению дополнительной нагрузки, связанной с проектированием системы или ее сопряжением с существующими установками, и в некоторых случаях может включать зоны, которые являются внешними по отношению к конструкциям установки. Особые ситуации, возникающие в результате непреднамеренной утечки жидких или газообразных отходов и выхода отработавших газов в результате операций сушки, могут в частности потребовать включения в конструкцию системы уникальных или комплексных решений, которые должны легко адаптироваться к различным установкам пользователей.

2.2. ПРИМЕНИМОСТЬ МОБИЛЬНЫХ СИСТЕМ: МЕТОДОЛОГИЯ ОЦЕНКИ И ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЯ ОБ ИМПЛЕМЕНТАЦИИ

При любом развертывании технологии в стационарной или мобильной конфигурации необходимо тщательно рассмотреть широкий спектр факторов. Настоятельно рекомендуется, чтобы соображения, указанные в процессе оценки, используемом в данной публикации, были тщательно проверены специалистами перед выбором конкретного подхода. Кроме того, пользователю предлагается углубить в рамках процесса оценки и внедрения технологий понимание ресурсов, необходимых для решения технических, нормативных, правовых, деловых и кадровых вопросов, связанных с другими заинтересованными сторонами, такими как правительственные и местные органы.

В данном разделе изложена методология оценки применимости мобильных систем переработки отходов и описывается процесс принятия выбора наиболее подходящих решений. На логической блок-схеме показаны два отдельных этапа итеративной оценки (см. рис. 1). Этап 1 включает [4]:

- сбор реалистичных инвентарных данных об отходах (например, данных об объемах, уровнях переработки и характеристиках отходов);
- цели переработки (например, обработку, иммобилизацию и упаковку для хранения и захоронения);
- определение перспективных технологий переработки (что само по себе требует учета сложных факторов).

Этот этап также включает предварительный технический отбор перспективных мобильных систем с целью определения целесообразности выбора той или иной системы.

Если результаты предварительной оценки на этапе 1 не подтверждают использование мобильной системы, то целесообразно рассмотреть использование постоянной или стационарной установки. Однако если предварительный анализ показывает приемлемость мобильной системы, процесс оценки переходит к этапу 2, который включает подробный технический анализ, а затем тщательный экономический анализ, с тем чтобы полностью обосновать имплементацию мобильной системы. Этап 2 заключается в проведении детальной оценки экономических аспектов, включая предварительные конкурсные предложения от поставщиков, если подобная система уже используется, или оценку стоимости на основе проектных чертежей системы. В рамках такой оценки также должны быть рассмотрены вопросы затрат на развертывание работ, эксплуатацию, техническое обслуживание, обращение с вторичными отходами, свертывание работ и захоронение. С помощью этого подхода можно принять технически и финансово обоснованное решение.

Далее подробно рассматриваются основные вопросы, которые необходимо рассмотреть на каждом этапе логики принятия решений, как показано на рис. 1. Важно отметить, что для принятия решения об имплементации могут потребоваться многократные итерации в рамках обоих этапов с своевременным участием руководства и последующим пересмотром целей и вариантов переработки.

2.2.1. Предварительная оценка целесообразности использования мобильной системы (этап 1)

Первая задача предварительной оценки заключается в понимании потока отходов, скорости образования и характеристик отходов, с тем чтобы сузить цели и варианты переработки. Для того чтобы начать этот анализ, необходимо подробно понимать их радиологические, физические, тепловые, химические и биологические свойства [19].

Определение целей переработки (например, обработки, иммобилизации и упаковки для хранения и захоронения) и, что еще более важно, определение перспективных технологий переработки должно соответствовать местным, национальным, международным и связанным с конкретной площадкой нормативам и требованиям. С этой точки зрения, прежде чем приступить к какому-либо дальнейшему анализу, необходимо обеспечить соблюдение требований нормативно-правовой базы и системы безопасности, состоящей из кодексов, требований и руководств, требований к заявкам на лицензирование, правил перевозки, требований в отношении воздействия на окружающую среду, желаемых свойств окончательной формы отходов и международных конвенций и соглашений.

Определение одной или нескольких технологий переработки отходов означает, что может существовать несколько вариантов, но в первую очередь необходимо учитывать оптимальные системы переработки и конфигурации, которые будут соответствовать целям и задачам. В рамках процесса оценки следует также учитывать результаты сравнения проверенных и новых

технологий. Прежде чем перейти к предварительному отбору перспективных технологий, важно проанализировать результаты этой оценки с руководством и соответствующими заинтересованными сторонами.

При предварительном отборе перспективных вариантов обычно необходимо учитывать следующие вопросы и параметры:

- характеристики поступающих отходов и исходных отходов (т. е. объем, вид, активность и форма);

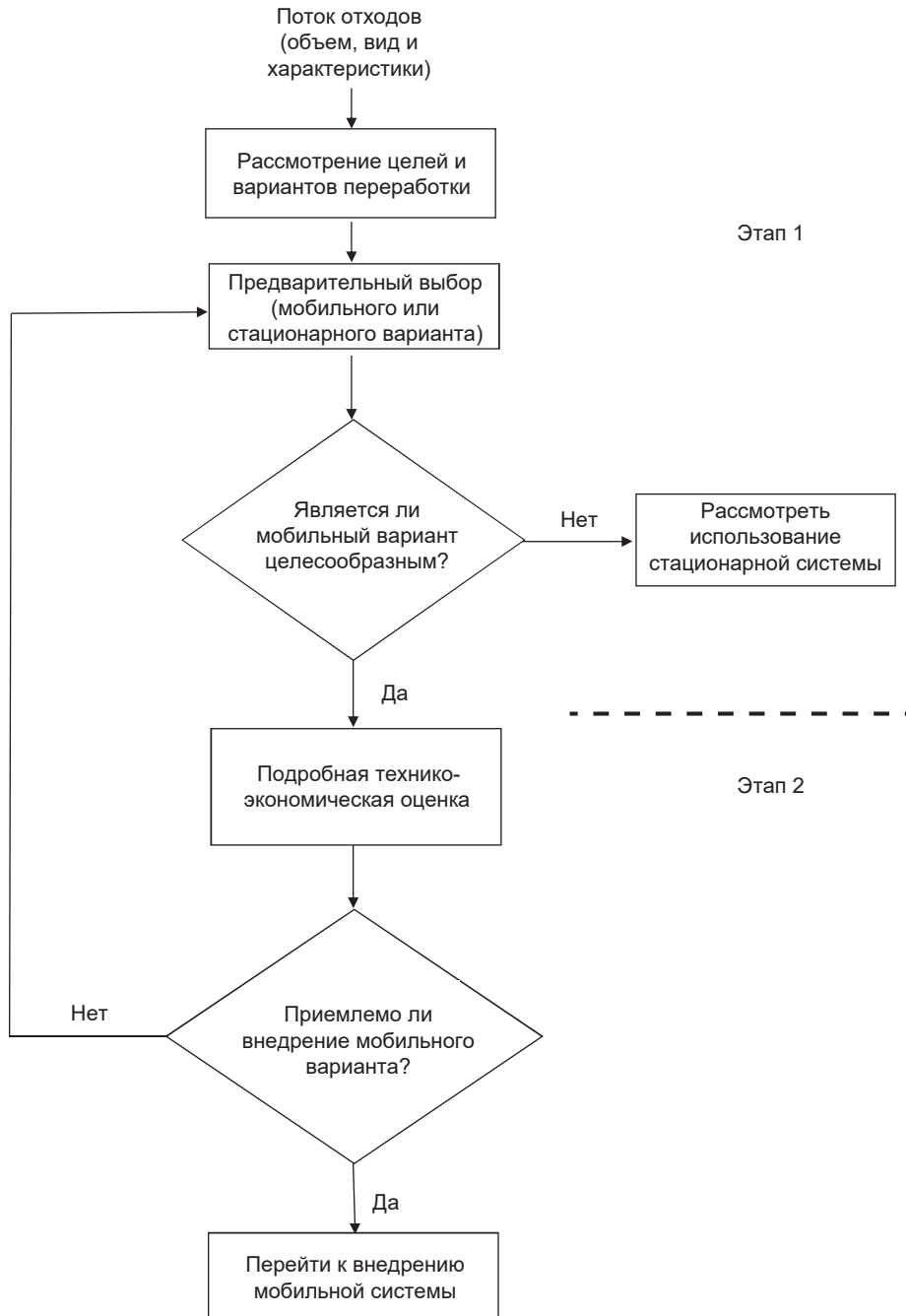


Рис. 1 Процесс принятия решения по определению применимости мобильных систем переработки.

- характеристики вторичных отходов, образующихся в ходе технологического процесса (т. е. объем, вид, активность и форма);
- характеристики окончательной формы отходов (т. е. тип контейнера, активность и форма);
- нормативно-правовые соображения (национальные, местные, международные, связанные с лицензированием, эксплуатацией и перемещением и перевозкой отходов);
- транспортные требования (эксплуатация системы, перевозка отходов и подъездные дороги);
- режим использования: периодическая или непрерывная переработка (система и вторичные отходы);
- расходы: контрактные соглашения (аренда/закупка), периодический (ежемесячный/ежегодный/по кампаниям/объемам) монтаж, расходные материалы, персонал, удаление и утилизация оборудования, транспортировка и окончательное удаление отходов;
- конфигурация системы (стационарная, мобильная или смонтированная на салазках);
- занимаемая площадь или физический размер стационарной или мобильной системы (максимальные размеры, пространство для обращения с фильтрующими средами/замены/ремонта);
- общая масса (для определения нагрузки на пол и перемещения);
- кадровые ресурсы (т. е. численность, нанимаемый по контракту персонал, техническая квалификация, операции, физическая безопасность и техническое обслуживание);
- максимальная или оптимальная пропускная способность и производительность, а также уменьшение объема;
- потребности в помещениях (зона хранения расходных материалов, складирования и хранения отходов);
- перечень расходных материалов, необходимых для технологических процессов (например, среды, контейнеры, детали и химреагенты);
- общие требования к технологическому обеспечению (воздух, вода, пар, электроснабжение и вентиляция);
- погрузочно-разгрузочное оборудование, необходимое для размещения, эксплуатации, а также манипулирования с отходами и их упаковки (например, краны, вилочные погрузчики и их грузоподъемность);
- общие требования промышленной и радиационной безопасности (барьеры, защита органов дыхания, дозиметрический контроль персонала, меры контроля радиоактивного загрязнения и мониторинг воздуха).

Следует отметить, что некоторые вопросы и параметры уже рассмотрены на более высоком уровне (например, нормативные, транспортные аспекты и характеристики отходов). Для целей данной публикации функции выбора перспективных вариантов оптимизированы, с тем чтобы дать ответ на вопрос о том, является ли мобильная система перспективным вариантом, заслуживающим дальнейшего анализа.

При рассмотрении преимуществ мобильной системы по сравнению со стационарной группа, проводящая оценку, должна проанализировать и взвесить важность отдельных факторов. Относительная важность (вес) каждого фактора зависит от каждого отдельного применения и требует участия и принятия коллективного решения группой оценки.

В разделах 3–7 представлена информация обо всех ключевых особенностях нескольких проверенных технологий мобильной переработки для различных этапов переработки отходов, которые можно использовать непосредственно из этой публикации во время предварительного отбора. Информация считается актуальной на момент публикации. Однако, как уже отмечалось, информация не является исчерпывающей и должна использоваться исключительно в качестве отправной точки при конкретном анализе.

2.2.2. Подробная оценка имплементации мобильной системы (этап 2)

Этап 2 включает подробный технический анализ возможности использования определенной мобильной технологии, а затем тщательный экономический анализ. Подробный технический анализ будет включать сбор данных и анализ для лучшего понимания технических деталей и потенциальных недостатков на основе:

- a) обзора технологии;
- b) компонентов системы;
- c) технологических сопряжений оборудования;
- d) распределения пространства и веса;
- e) мер физического контроля;
- f) перемещения отходов и материалов.

Использование формального экономического анализа может включать запросы предложений от нескольких потенциальных поставщиков. Он также может включать участие финансовых и юридических представителей, а также завершение оценки рисков с учетом технических, экологических и финансовых факторов, влияющих на выводы. Необходимо позаботиться о том, чтобы переговоры с заинтересованными сторонами были технически точными и понятными каждому.

В конце экономического анализа вся информация должна быть собрана и обобщена. Затем она используется для определения наилучшего подхода при поддержке внутренних и внешних заинтересованных сторон. Заключительным этапом процесса является валидация решения о приемлемости внедрения мобильной системы. Если детальная оценка не полностью оправдывает внедрение, анализ необходимо повторить, чаще всего начиная с определения альтернативных перспективных вариантов. Альтернативой такой итеративной петле может быть решение рассмотреть стационарную установку.

В приложениях I и II содержится подробная техническая информация по двум широко используемым мобильным технологиям переработки. Следует отметить, что эта информация не является исчерпывающей и будет использоваться исключительно в качестве отправной точки для разработки детального скрининга, при котором будут учитываться, среди прочего:

- требования в отношении эксплуатации и технического обслуживания;
- огнеопасность;
- образование опасных газов;
- дополнительное защитное экранирование;
- возможные проблемы с повторной критичностью вторичных отходов.

2.2.3. Пример двухэтапного процесса принятия решения

Предлагаемая методология имплементации мобильной системы (например, подход, оценка соответствующих соображений и технико-экономический анализ) представляет собой двухэтапный процесс принятия решения (см. рис. 1). Одним из простых примеров является обработка эксплуатационных твердых отходов пяти атомных электростанций с установленной мощностью 1500 МВт(эл.) с несколькими реакторными энергоблоками, расположенными в пределах периметра 300 км. В среднем образующиеся твердые отходы состоят из 70% горючих отходов (85% которых также могут быть подвергнуты компактированию), а остальные 30% не подлежат переработке.

2.2.3.1. Этап 1: рассмотрение целей и вариантов переработки

Наиболее очевидными вариантами обработки определенных потоков отходов являются сжигание и компактирование, которые следует рассматривать в соответствии с проверенным международным опытом и передовой практикой. После предварительного рассмотрения нормативных требований и требований безопасности выясняется, что оба перспективных варианта могут быть дополнительно проанализированы, поскольку оба варианта могут соответствовать требованиям. Однако оба перспективных варианта обладают преимуществами и недостатками, и поэтому целесообразно проконсультироваться с руководством и другими заинтересованными сторонами с целью получения их мнений, если необходимо продолжить предварительный технический анализ обоих вариантов или если после выявления очевидных преимуществ одного из вариантов только он должен быть включен в окончательный список. В данном примере, с точки зрения руководства необходимо рассмотреть оба варианта для предварительного отбора.

2.2.3.2. Этап 1: предварительный отбор, включая сравнительный анализ мобильного и стационарного вариантов

Качественное сравнение проблем и параметров указывает, например, на то, что получение разрешения регулирующих органов на сжигание будет намного сложнее (например, с точки зрения затрат и времени на лицензирование) по сравнению с разрешением на суперкомпактор. Образование вторичных отходов, особенно газообразные выбросы, сложнее контролировать и это требует сложной системы для печи сжигания отходов. Форма отходов, образующихся после суперкомпактора, является окончательной и не требует дальнейшей иммобилизации, за исключением последующего заключения в матрицу (цементирования) в контейнере одноразового использования. Отходы, образующиеся в печи сжигания отходов (за исключением случаев, когда используется высокотемпературная плазменная обработка), обычно требуют дальнейшей иммобилизации.

Однако коэффициент уменьшения объема, который может быть достигнут для окончательной формы отходов при сжигании, по-прежнему намного выше, чем после суперкомпактирования. Многие суперкомпакторы доступны в коммерческом плане в виде модульных установок, работающих на основе кампаний на месте образования отходов или постоянно установленных на централизованном объекте. Лишь немногие печи сжигания отходов являются «транспортными». Поэтому модульная система потребует новых подходов к проектированию, эксплуатации и, определенно, к лицензированию. Следовательно, ее можно исключить как вариант из дальнейшего анализа. Однако централизованное сжигание отходов является довольно распространенной практикой в отношении таких объемов отходов, поскольку оно обеспечивает наилучшие результаты с точки зрения уменьшения объема.

Перевозка отходов с площадок, на которых они образуются, потребует соблюдения строгих правил перевозки и может существенно повысить затраты и риски, которые необходимо контролировать. Однако перемещение отходов с установок, на которых они образуются, в пределах конкретных площадок по дорогам, не предназначенным для общего пользования, является более эффективным с точки зрения затрат и более свободным от таких рисков. Штатное расписание печи сжигания отходов обычно требует наличия лицензированных операторов, работающих посменно в режиме «24/7», в то время как суперкомпактор может быть арендован и эксплуатироваться исключительно силами внешних операторов.

Сопоставление затрат (на основе бюджетной сметы) указывает на то, что разница между рассмотренными опциями не существенна: она составляет порядка процентов вместо порядка величины в единицах затрат (долл./м³). В ходе предварительного анализа учитываются капитальные, эксплуатационные расходы и расходы на техническое обслуживание, а также расходы на получение разрешений и прочие расходы «от колыбели до могилы» (например, связанные с полным жизненным циклом отходов, включая хранение и захоронение). Несмотря

на то, что такое сравнение затрат по-прежнему демонстрирует относительное преимущество постоянно установленной центральной установки для сжигания отходов, похоже, что либо мобильный суперкомпактор, работающий в режиме кампаний на рассредоточенных площадках, либо стационарный суперкомпактор на централизованном объекте оправданы с точки зрения сравнения затрат.

Такие предварительные соображения подразумевают, что решение должно быть принято с учетом не столь явных вопросов (других факторов), а не в зависимости от стоимости единицы продукции. На основе этого качественного предварительного отбора группа оценки может сделать вывод, что мобильный суперкомпактор является целесообразным вариантом и что целесообразно перейти к этапу 2 для проведения детальной технико-экономической оценки, которая требуется до принятия решения об имплементации.

Следует отметить, что такой качественный анализ, вероятно, приведет к другому выводу, если входные параметры будут иными. Например, если число площадок атомных электростанций составляло лишь одну или две, если объем был значительно меньшим или если площадки были расположены очень близко друг к другу.

2.2.3.3. Этап 2: Подробная технико-экономическая оценка

Для проведения детальной технической оценки необходимо вернуться к рассмотренным предположениям, касающимся образования отходов (т. е. объемов, темпов, режима эксплуатации и требуемых производственных мощностей), а также к аспектам регулирования и безопасности, с тем чтобы подтвердить, были ли выполнены все требования, предъявляемые к заявке на лицензирование. Следующим шагом является рассмотрение параметров проекта, пределов, ограничений, надежности и доступности, ремонтпригодности, строительной технологичности, ограничений рабочей среды и национальных стандартов (например, обзор технологии). Анализ компонентов системы поможет лучше понять требования к оборудованию для реализации технологических схем. Понимание требований к пространству, распределения веса, сопряжений, привязок, смежности с существующими конфигурациями, требуемых услуг, а также физических средств управления системой (например, барьеров, доступа, входа и выхода) также является важной частью технического анализа. Наконец, для завершения анализа необходимо учитывать перемещение отходов и материалов. Этот перечень не является ни последовательным, ни исчерпывающим. Необходимая информация зависит от конкретного случая.

В приложении I перечислены наиболее важные параметры и рекомендации для мобильных суперкомпакторов, которые используются в данном примере. Однако у поставщиков можно получить более подробную информацию в отношении определенной производственной мощности и режима работы, которая будет включать в себя блок-схему технологического процесса и другие данные, полезные для оценки.

Результаты анализа для данного примера показывают, что мобильный суперкомпактор является возможным вариантом с технической точки зрения. Однако обработка отходов может осуществляться с помощью мобильных компакторов различной производительности (пропускной способности), которые связаны с их режимами работы (одна или несколько смен и кампании меньшей или большей продолжительности). Оптимальное решение должно быть найдено на основе экономического анализа, который будет состоять из подробных инженерных оценок стоимости различных компакторов и эксплуатационных затрат на компактирование для различных сценариев эксплуатации. За этим следует анализ влияния этой технологии на стоимость жизненного цикла отходов. Следует отметить, что такой комплексный экономический анализ является обязательным для любого решения, которое выглядит технически осуществимым, до его имплементации.

Когда анализ ясно показывает, что стоимость использования мобильной системы является доступной и выгодной, имплементация может быть начата немедленно. Однако если будет установлено, что мобильная система не соответствует бизнес-целям (например, по удельным затратам) или что она просто удовлетворяет предельным ограничениям, без достаточных

резервов на непредвиденные расходы по стоимости жизненного цикла, необходимо вернуться к этапу предварительной проверки, чтобы пересмотреть предположения о целесообразности использования мобильной системы. Ожидается, что аналогичный подробный анализ может быть проведен в отношении постоянно установленной системы — в данном примере это либо централизованное сжигание, либо централизованное компактирование. Такой анализ позволил бы провести сравнение, необходимое для выбора наиболее подходящего решения для имплементации.

Следует отметить, что, в зависимости от конкретного случая, итеративный анализ может быть повторен несколько раз, прежде чем будет принято окончательное решение об имплементации. Поскольку окончательное решение об имплементации наиболее подходящего решения зависит не только от экономической эффективности, но и от ряда других соображений, связанных с управлением неопределенностями и рисками, мобильная система по-прежнему может стать выбираемым вариантом.

Это обсуждение показывает, что даже в случае простой ситуации, рассмотренной в данном примере (обработка эксплуатационных твердых отходов пяти атомных электростанций с установленной мощностью 1500 МВт(эл.) с несколькими реакторными энергоблоками, расположенными в пределах периметра 300 км), окончательное решение об использовании мобильной или альтернативной системы не является простым и может быть принято только после тщательного и комплексного анализа конкретной ситуации.

3. СИСТЕМЫ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ОТХОДОВ

3.1. ТВЕРДЫЕ ОТХОДЫ

3.1.1. Компактирование с низким усилием

3.1.1.1. Описание типичной системы

Системы компактирования с низким усилием, как правило, являются автономными блоками, в которых используется технология компактирования с помощью гидравлического пресса, с возможностью сбора жидкостей, которые могут образовываться во время цикла компактирования (см. рис. 2). Эффлюент — смесь газов, воздуха и твердых частиц — требуется фильтровать и направлять к обеспечивающему мониторинг и санкционированному пункту сброса. Компактирование с низким усилием может представлять собой либо систему предварительной обработки перед компактированием с большим усилием, либо независимую систему обработки. Усилие прессования обычно составляет 100–500 кН.

Эта технология позволяет эффективно превратить стандартную 200-литровую бочку в диск или «шайбу», а также может использоваться для компактирования отходов низкой плотности до небольших объемов внутри бочки с целью подготовки к последующему суперкомпактированию или удалению. Конечный продукт будет различным в зависимости от усилия компактирования и исходной плотности отходов в бочке, но типичные коэффициенты уменьшения объема будут находиться в диапазоне от 3 до 6, в зависимости от того, используется ли блок для компактирования отходов внутри бочки или компактирования самой бочки. Эта технология во многих случаях адаптируется как мобильная система, обслуживающая несколько установок.



РИС. 2. Пресс-компактор с низким усилием.

3.1.1.2. Описание отдельных компонентов и элементов

- a) **Корпус компактора:** он, по сути, является ключевым компонентом системы, при этом гидроцилиндр и камера компактирования с защитной оболочкой для эффективного удаления газа и частиц, образующихся при компактировании, обычно располагаются вертикально. Бочка для компактирования отходов либо внутри бочки, либо иным образом, подается в камеру после поднятия камеры или открытия дверцы доступа.
- b) **Гидравлический силовой агрегат:** это гидравлическая система прессования с маслом в качестве рабочей жидкости, включающая насос высокого давления и соединительные трубопроводы к компактору. Силовой агрегат также содержит регуляторы давления, устройства регулирования расхода и предохранительные сбросные клапаны.
- c) **Система обработки воздуха, газа и твердых частиц:** система обработки взвешенных в отходящих газах частиц должна обеспечивать, чтобы газы, сбрасываемые в окружающую среду, были свободны от радиоактивных частиц. Обычно она состоит из фильтра

предварительной очистки и высокоэффективного фильтра для удаления твердых частиц (HEPA), установленных последовательно, и, в некоторых случаях, туманоуловителя перед вытяжным вентилятором надлежащей производительности.

- d) **Система обращения с жидкостями:** в процессе компактирования могут появляться жидкости, выделяющиеся из компактируемого материала. Для обеспечения безопасного обращения с жидкостями предусмотрена дренажная система или система сбора. Обычно эта жидкость собирается и партиями перемещается в системы обработки отходов.
- e) **Панель управления и распределительный щит электропитания:** для насоса гидросистемы и вентилятора вытяжной системы требуется электропитание. Панель управления содержит элементы управления и логические управляющие электронные устройства. Для дистанционного управления требуются подвесной пульт управления и соответствующий кабель питания или управления.
- f) **Резервуары для сбора вторичных отходов:** в некоторых случаях компакторы комплектуются резервуарами для сбора отходов. Обработка отходов, как правило, входит в обязанности принимающей площадки.

3.1.1.3. Преимущества данной системы

- Относительно высокие коэффициенты уменьшения объема;
- небольшие физические габариты;
- усилие прессования до 500 кН;
- специальные конструкции, соответствующие различным размерам бочек;
- возможность компактирования отходов внутри бочки;
- простота обслуживания и дезактивации;
- хорошо зарекомендовавшее себя оборудование.

3.1.1.4. Ограничения данной системы

- На достигаемый коэффициент уменьшения объема отходов может в значительной степени влиять характер отходов;
- непригодна для отходов высокой плотности (например, металлов, бетона и древесины);
- обработка вторичных отходов, как правило, не предусматривается системой компактора.

3.1.1.5. Основные соображения при выборе

В таблице 2 приведены основные соображения при выборе систем компактирования с низким усилием.

3.1.2. Механическая дезактивация

3.1.2.1. Описание типичной системы

Мобильные системы дезактивации могут быть сконфигурированы с различными вариантами дезактивации. Мобильные технологии механической дезактивации включают струйную очистку углекислым газом (сухим льдом), струйную очистку льдом, дробеструйную или пескоструйную очистку, струйную очистку пластиковыми или стеклянными шариками, водоструйную очистку (сочетание воды под высоким давлением и абразивоструйной среды) и водоструйную очистку (струи высокотемпературной воды под высоким давлением, а также вакуумная очистка и очистители очень высокого и сверхвысокого давления).

ТАБЛИЦА 2. ОСНОВНЫЕ СООБРАЖЕНИЯ ПРИ ВЫБОРЕ СИСТЕМ КОМПАКТИРОВАНИЯ С НИЗКИМ УСИЛИЕМ

| Рассматриваемый параметр | Описание |
|---|--|
| Характеристики поступающих и исходных отходов (объем, вид, активность, форма) | <p>Форма или характеристики потоков отходов, которые чаще всего связаны с мобильным компактированием с низким усилием, таковы:</p> <ul style="list-style-type: none"> — отходы, обычно упакованные в пластиковые пакеты, бочки или коробки (скипы); — неплотно упакованные отходы и отходы низкой плотности, обычно связанные с эксплуатацией установки с радиоактивными материалами (например, бумага, пластик, ткань); — низкоактивные отходы, обращение с которыми является частью стратегии относительно малозатратного захоронения (отходы, для которых нецелесообразно компактирование с более высоким усилием или другие более дорогостоящие и более высокопроизводительные системы уменьшения объема). <p>Компактирование с низким усилием также можно использовать в качестве этапа предварительной обработки перед суперкомпактированием, если желательно дополнительное уменьшение объема.</p> |
| Характеристики вторичных отходов, образующихся в технологическом процессе (объем, вид, активность, форма) | <p>Помимо получаемой в результате прессования шайбы или бочки с спрессованным материалом, вторичные отходы, образующиеся в результате компактирования с низким усилием, обычно невелики по объему или отсутствуют. Во время работы могут образовываться небольшие количества жидкости, а также фильтрующие среды с осажденными частицами. Уровни загрязнения обычно характерны для подвергаемых компактированию отходов, но обычно не концентрируются в ходе технологического процесса.</p> |
| Характеристики окончательной формы отходов (тип контейнера, активность, форма) | <p>Окончательная форма отходов, как правило, представляет собой форму спрессованных отходов низкой плотности, которая может быть заключена в пакет, бочку или ящик. В некоторых системах используются простые формы устройств подавления отпружинивания (например, ленты или вставки), которые сжимаются вместе с формой отходов с целью максимального уменьшения объема. Коэффициенты уменьшения объема зависят от вида отходов, но обычно находятся в диапазоне от 3 до 6.</p> |
| Нормативно-правовые соображения (национальные, местные, международные, связанные с лицензированием, эксплуатацией, перемещением и транспортировкой отходов) | <p>Для развертывания системы не требуется сложного нормативного или юридического процесса.</p> |
| Требования к транспортировке (эксплуатация системы, транспортировка отходов, подъездные дороги) | <p>Блок может транспортироваться простым способом, и, в отличие от радиоактивных материалов или отходов, не требует специальных транспортных средств для оборудования и образующихся форм отходов.</p> |
| Режим использования: периодическая или непрерывная переработка (система, вторичные отходы) | <p>Эксплуатация системы носит, как правило, периодический характер. Частота обычно зависит от скорости образования отходов и емкости их хранилища.</p> |

ТАБЛИЦА 2. ОСНОВНЫЕ СООБРАЖЕНИЯ ПРИ ВЫБОРЕ СИСТЕМ КОМПАКТИРОВАНИЯ С НИЗКИМ УСИЛИЕМ (продолж.)

| Рассматриваемый параметр | Описание |
|--|--|
| Расходы: контрактные договоренности (аренда/закупки); периодическая (месяц/год/кампания/объем) установка; расходные материалы; персонал; удаление и утилизация оборудования; транспортировка; окончательная утилизация отходов | Системы компактирования с низким усилием можно арендовать или приобрести (обычно). Как правило, они являются недорогими и непосредственно адаптированы из применений по обращению с нерадиоактивными отходами. Они не требуют значительных денежных инвестиций и не требуют больших затрат на эксплуатацию и техническое обслуживание. |
| Конфигурация системы (мобильная или смонтированная на салазках) | Конфигурация систем компактирования с низким усилием может предусматривать либо монтаж на салазках для использования на предприятии, либо установку на небольшой мобильной платформе, такой как контейнер ИСО. |
| Занимаемая площадь или физический размер мобильной системы (максимальные размеры, пространство для обращения с фильтрующими средами/замены/ремонта) | Системы компактирования с низким усилием требуют минимального пространства и обычно могут быть размещены на участках площадью менее 15 м ² . |
| Общая масса (для определения нагрузки на пол и перемещения) | Масса устройства обычно находится в диапазоне 1–5 т. |
| Кадровые ресурсы (численность, нанимаемый по контракту персонал, техническая квалификация, операции, физическая безопасность, техническое обслуживание) | Обычно требуется один оператор. На некоторых площадках в качестве меры техники безопасности требуются бригады из двух человек (гидравлический пресс высокого давления). Обучение обычно требуется только для управления системой и обеспечения выполнения требований техники безопасности. Для выполнения некоторых операций по техническому обслуживанию может потребоваться квалифицированный специалист по гидросистемам. |
| Максимальные или оптимальные пропускная способность, производительность, коэффициент дезактивации и уменьшение объема | <p>Типичная производительность или пропускная способность компактора с низким усилием указывается в «минутах на цикл прессования». Продолжительность цикла определяется объемом твердых отходов в контейнере и давлением завершения цикла, установленным производителем.</p> <p>Типичный полный цикл от прессования до снятия нагрузки для компактора бочек или коробок с низким усилием составляет 1–5 минут. Так же, как и продолжительность цикла прессования, количество циклов прессования контейнера зависит от вида и плотности отходов, а также от настроек давления компактора.</p> |
| Потребности в помещениях (зона хранения расходных материалов, складирования и хранения отходов) | <ul style="list-style-type: none"> — Для автономных систем: пространство для прицепа 3 м × 6 м. — Для систем на салазках: обычно 3,7 м × 2,3 м × 1,3 м. — Потребности в помещениях для расходных материалов незначительны: для предварительной и последующей обработки контейнеров для отходов, как правило, 15–30 м². |

ТАБЛИЦА 2. ОСНОВНЫЕ СООБРАЖЕНИЯ ПРИ ВЫБОРЕ СИСТЕМ КОМПАКТИРОВАНИЯ С НИЗКИМ УСИЛИЕМ (продолж.)

| Рассматриваемый параметр | Описание |
|---|---|
| Перечень расходных материалов, необходимых для технологического процесса (технологические среды, контейнеры, детали, химреагенты) | <ul style="list-style-type: none"> — Расходные материалы, необходимые для компактирования с низким усилием, — это обычно бочки, средства подавления отпружинивания, фильтры для улавливания твердых частиц и другие контейнеры, используемые в технологическом процессе; — рабочая жидкость гидросистемы подлежит периодической замене, но она обычно не загрязняется в процессе компактирования, если нет разливов или течей из системы. |
| Общие требования к технологическому обеспечению (воздух, вода, пар, электроснабжение, вентиляция) | <ul style="list-style-type: none"> — Электроснабжение: 440/220 В перем. тока. — Вентиляция: 0,5–5 м³/мин; отрицательное давление на поверхности компактирования. |
| Погрузочно-разгрузочное оборудование, необходимое для размещения, эксплуатации, а также манипулирования с отходами и их упаковки (краны, вилочные погрузчики, грузоподъемность) | <ul style="list-style-type: none"> — Манипулирование с предварительно обработанными пакетами отходов и их загрузка в компактор производится вручную. — Для подвергнутых компактированию бочек или коробок обычно требуются стандартные промышленные подъемно/транспортные средства, такие как вилочные погрузчики, ручные тележки или простые подъемники. |
| Общие требования промышленной и радиационной безопасности (барьеры, защита органов дыхания, дозиметрический контроль персонала, меры контроля радиоактивного загрязнения, мониторинг воздуха) | <ul style="list-style-type: none"> — Как правило, требуется защитная одежда, средства для дозиметрии и промышленной безопасности (например, защита глаз, защитная обувь). — При компактировании отходов с высокими уровнями загрязнения и дезактивации внутренней камеры компактирования или гидравлического пресса может потребоваться защита органов дыхания. — На основной площадке с целью сведения к минимуму вероятности любого выброса переносимой по воздуху активности обычно обеспечиваются локальная вентиляция и отбор проб воздуха. |



РИС. 3. Система дезактивации пола, смонтированная на тележке (с разрешения ЦАИБ).

В одном из примеров системы механической дезактивации используется небольшая, смонтированная на тележке высокотемпературная водоструйная система, используемая, наряду с прочим, для механической очистки полов, стен и компонентов в специальных кожухах в производственных помещениях (см. рис. 3). Принцип заключается в эффективной очистке путем сочетания механического воздействия струи воды, усиленного паром. Остаточная водо/паровая смесь собирается мощной вакуумной системой, оставляя пол и компонент почти сухими. В этой конструкции мобильное устройство также обрабатывает собранный жидкий и твердый материал отходов. В конструкцию могут входить конденсаторы и сепараторы циклонного типа в системе очистки отходящих газов и фильтрах, а также ионообменные фильтры для жидких отходов. Для уборки полов также доступны варианты очистки с помощью щеток.

3.1.2.2. Описание отдельных компонентов и элементов

В зависимости от технологии компоненты могут существенно различаться. Однако в описанной выше системе основными компонентами являются:

- кожух струйно-вакуумной очистки;
- блок подогрева и подачи воды под давлением (модуль высокой температуры/высокого давления);
- модуль очистки отходящих газов с вытяжной воздуходувкой;
- блоки водоочистки и рециркуляции в модуле циклонного сепаратора;
- модуль фильтра;
- ионообменный модуль.

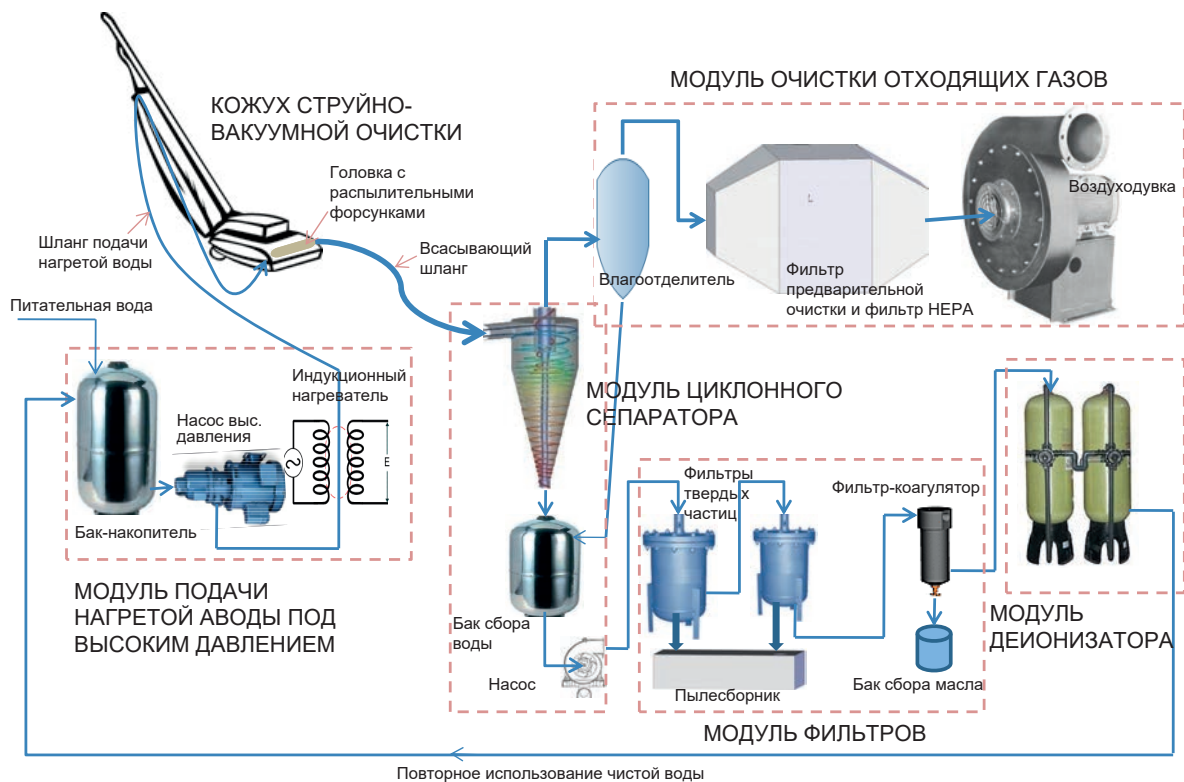


РИС. 4. Схема мобильной системы дезактивации поверхностей (с разрешения ЦАИБ).

Все модули собираются на передвижной тележке (размерами приблизительно 1,5 м × 1 м × 1,5 м), причем конфигурация каждого модуля обеспечивает простой доступ к эксплуатации и техническому обслуживанию. Блок управления и питания системы также расположен на тележке и легко доступен. Мобильное устройство предназначено для перемещения в коридорах и галереях технического обслуживания. При продвижении вакуумного кожуха очистки вперед во время процесса очистки за ним остается обработанное (очищенное) сухое и дезактивированное пространство, обеспечивающее перемещение оператора и шлангов без распространения загрязнения (см. рис. 4).

К основным компонентам системы относятся:

- a) **кожух струйно-вакуумной очистки:** он представляет собой перемещаемый вручную кожух, в котором расположены распылительные форсунки для распыления под высоким давлением нагретой до высокой температуры воды. Небольшие колеса в нижней части кожуха (просвет над очищаемой поверхностью 2–3 мм), обеспечивают возможность передвижения. К кожуху подключены шланги для воды и вакуума (типичный радиус проведения работ 5–10 м). Это позволяет использовать кожух в загрязненной зоне, в то время как мобильный блок может быть расположен в удаленном чистом месте. При необходимости можно использовать более длинные шланги.
- b) **Накопительный резервуар для воды, насос и система нагрева:** модуль нагрева и подачи под давлением воды устанавливается на передвижную тележку. Вода поступает в резервуар емкостью 100 л и хранится в нем. Нагрев воды производится проточным нагревателем. Расход воды регулируется вентилями, что позволяет выполнять очистку с использованием меньших количеств воды.
- c) **Циклон, маслоуловитель, фильтр предварительной очистки, фильтр НЕРА и вакуумная воздуходувка:** подсистема очистки состоит из элементов очистки газов и жидкостей. В циклонном сепараторе жидкость подается в его нижнюю часть, а газообразные/паровые компоненты всасываются через верхнюю часть вакуумной воздуходувкой. Очиститель отходящих газов состоит из маслоуловителя и фильтра предварительной очистки или фильтра НЕРА. Конденсат в маслоуловителе направляется в систему очистки жидкости.
- d) **Картриджные фильтры твердых частиц, фильтр-коагулятор, катионо- и анионообменные колонны, рециркуляционные насосы:** Система очистки жидкости состоит из картриджных фильтров твердых частиц, фильтра-коагулятора для отделения масляных веществ и модуля деионизатора для удаления растворенных солей. Чистая вода используется повторно. Рециркуляция очищенной воды снижает объем вторичных жидких отходов. Для восполнения потерь в системе в процессе очистки потребуется вода, поступающая из системы водоснабжения.
- e) **Система электроснабжения, управления и контрольно-измерительной аппаратуры:** На основной площадке требуется электроснабжение. Системы электроснабжения и управления, включая управление вентилями, смонтированы в тележке с обеспечением легкого доступа для технического обслуживания.

3.1.2.3. Преимущества данной системы

- Рециклирование и повторное использование инструментов и оборудования;
- выброс без ограничений чистых материалов, соответствующих критериям в отношении выбросов;
- комбинированная очистка с использованием вакуума и давления ограничивает распространение загрязнения;
- сокращение объема подлежащих захоронению отходов, что снижает затраты на захоронение.

3.1.2.4. Ограничения данной системы

- Размеры подлежащих дезактивации материалов ограничиваются размерами вакуумного кожуха и камеры;
- у некоторых государств или ядерных установок может не иметься критериев в отношении неограниченного выброса материалов.

3.1.2.5. Основные соображения при выборе

В таблице 3 приведены основные соображения при выборе систем механической дезактивации.

ТАБЛИЦА 3. ОСНОВНЫЕ СООБРАЖЕНИЯ ПРИ ВЫБОРЕ СИСТЕМ ДЕЗАКТИВАЦИИ

| Рассматриваемый параметр | Описание |
|---|---|
| Характеристики поступающих и исходных отходов (объем, вид, активность, форма) | <ul style="list-style-type: none">— загрязненные во время эксплуатации или технического обслуживания участки пола в производственных помещениях;— компоненты (металлические, пластиковые, композитные) с гладкими или неровными поверхностями;— объем изменяется в зависимости от процесса, приводящего к образованию отходов;— уровни активности обычно от низкого до среднего в условиях, когда загрязнения не связаны или связаны частично. |
| Характеристики вторичных отходов, образующихся в технологическом процессе (объем, вид, активность, форма) | <ul style="list-style-type: none">— объемы вторичных отходов невелики по сравнению с мытьем полов и мокрой очисткой;— образующиеся отходы являются твердыми или жидкими (например, вода, используемая в системе, промывочная вода, фильтры предварительной очистки/HEPA);— некоторые типы твердых фильтрующих сред могут использоваться несколько раз (например, фильтровальные свечи и фильтрующие элементы картриджных фильтров, иониты);— требуются сбор и кондиционирование израсходовавших ресурс твердых фильтрующих сред;— для удаления или повторного использования образующихся жидких отходов требуется их обработка с применением технологий обработки водных вод. |
| Характеристики окончательной формы отходов (тип контейнера, активность, форма) | <ul style="list-style-type: none">— твердые, заключенные в бочку, коробку или другой контейнер;— может потребоваться кондиционирование отработанных фильтрующих сред и ионитов, с тем чтобы удовлетворялись критерии приемлемости для захоронения. |
| Нормативно-правовые соображения (национальные, местные, международные, связанные с лицензированием, эксплуатацией, перемещением и транспортировкой отходов) | <p>Как правило, вопросы, связанные с регулированием, не очень сложны, так как системы используются в контролируемых условиях. В отношении управления деятельностью, перевозки радиоактивных систем, а также выбросов материалов и подвергнутых обработке жидких отходов применяются местные, региональные и национальные правила:</p> <ul style="list-style-type: none">— может потребоваться передача загрязненного материала из пункта его образования или сбора в систему дезактивации;— в ходе транспортировки на новую площадку может потребоваться перевозка по дорогам общего пользования. |

ТАБЛИЦА 3. ОСНОВНЫЕ СООБРАЖЕНИЯ ПРИ ВЫБОРЕ СИСТЕМ ДЕЗАКТИВАЦИИ
(продолж.)

| Рассматриваемый параметр | Описание |
|--|--|
| Требования к транспортировке (эксплуатация системы, транспортировка отходов, подъездные дороги) | <ul style="list-style-type: none"> — для доставки и удаления системы требуется разрешение на перевозку по дороге в грузовом автомобиле или контейнере; — перемещение отходов в бочках или контейнерах с использованием небольших транспортных контейнеров или защитных экранов; — для дезактивации поверхности мобильная система перемещается в зону очистки либо путем буксировки, либо вручную путем перемещения тележки. |
| Режим использования: периодическая или непрерывная переработка (система, вторичные отходы) | <ul style="list-style-type: none"> — как правило, периодический процесс, но возможен и непрерывный режим работы; — продолжительность обычно ограничивается усталостью оператора. |
| Расходы: контрактные договоренности (аренда/закупки); периодическая (месяц/год/кампания/объем) установка; расходные материалы; персонал; удаление и утилизация оборудования; транспортировка; окончательная утилизация отходов | <p>Затраты зависят от типа технологического процесса. Типичная стоимость системы очистки поверхностей, использующей метод разбрызгивания, составляет примерно 200 000 долл. США. Распространенными стратегиями являются аренда и закупка</p> |
| Конфигурация системы (мобильная или смонтированная на салазках) | <ul style="list-style-type: none"> — В случае аренды системы обычно поставляются в контейнерах. — Закупаемые системы — это блоки меньших масштабов. |
| Занимаемая площадь или физический размер мобильной системы (максимальные размеры, пространство для обращения с фильтрующими средами/замены/ремонта) | <ul style="list-style-type: none"> — Небольшие блоки на установке: 1 м × 1,5 м × 1,5 м, для установки барабана для шланга требуется площадь пола 1 м × 1 м. — Размеры блоков в контейнерах могут достигать 3 м × 15 м × 3 м. |
| Общая масса (для определения нагрузки на пол и перемещения) | <p>Стандартная масса системы очистки поверхностей на установке составляет ~1000 кг, но фактическая масса зависит от конструкции.</p> |
| Кадровые ресурсы (численность, нанимаемый по контракту персонал, техническая квалификация, операции, физическая безопасность, техническое обслуживание) | <ul style="list-style-type: none"> — Как правило, требуются один обученный оператор и один неквалифицированный помощник. — Для подключения, удаления и периодического внепланового технического обслуживания может потребоваться обслуживающий персонал. |
| Максимальные или оптимальные значения пропускной способности, производительности, коэффициента дезактивации и уменьшения объема | <p>Мобильная система очистки поверхностей для применения на установке может обычно обеспечивать дезактивацию площади 800–1000 м² при восьмичасовой рабочей смене, в зависимости от типа и уровня загрязнения.</p> |
| Потребности в помещениях (зона хранения расходных материалов, складирования и хранения отходов) | <p>Обычно пространство для хранения имеет размеры 3 м × 3 м × 4 м.</p> |

ТАБЛИЦА 3. ОСНОВНЫЕ СООБРАЖЕНИЯ ПРИ ВЫБОРЕ СИСТЕМ ДЕЗАКТИВАЦИИ (продолж.)

| Рассматриваемый параметр | Описание |
|---|---|
| Перечень расходных материалов, необходимых для технологического процесса (технологические среды, контейнеры, детали, химикаты) | <ul style="list-style-type: none"> — фильтрующие элементы фильтра предварительной очистки/НЕРА; — ионообменные колонны; — вода; — воздушные и водяные фильтры; — головки с распылительными форсунками; — наконечники для струйной обработки; — специальные присадки для очистки. |
| Общие требования к технологическому обеспечению (воздух, вода, пар, электроснабжение, вентиляция) | <ul style="list-style-type: none"> — Электроснабжение: требования зависят от оборудования; обычно 440/220 В перем. тока. — Жидкостные системы: дренажная система или другие санкционированные, контролируемые пути сброса. — Воздух: баллон со сжатым воздухом, подключенный к мобильной системе, или шланг подачи технического воздуха из пневмосистемы на установке. |
| Погрузочно-разгрузочное оборудование, необходимое для размещения, эксплуатации, а также манипулирования с отходами и их упаковки (краны, вилочные погрузчики, грузоподъемность) | Погрузочно-разгрузочные системы, такие как подъемники и вилочные погрузчики, необходимые для развертывания и свертывания работ (погрузки). |
| Общие требования промышленной и радиационной безопасности (барьеры, защита органов дыхания, дозиметрический контроль персонала, меры контроля радиоактивного загрязнения, мониторинг воздуха) | Требуются пункты радиологического контроля облучения и загрязнения, включая пространство для надевания и снятия защитной одежды. По завершении работ требуется дозиметрический контроль загрязнения персонала. |

Примечание: Фильтр НЕРА — высокоэффективный сухой воздушный фильтр.

3.2. ЖИДКИЕ ОТХОДЫ

3.2.1. Химическая нейтрализация и осаждение

3.2.1.1. Описание типичной системы

На изменения химического состава влияют регулирование pH, добавление флокулянтов, осаждающих реактивов или другие дополнительные методы обработки. Их использование в качестве единственного метода обработки или в сочетании с другими средами для переработки является проверенным методом обработки отходов. Добавление химикатов может выполняться вручную или автоматически с помощью систем дозированной подачи в периодическом, поточном или автоматическом режиме. На рис. 5 представлена упрощенная схема автоматической системы непрерывной подачи. На рис. 6 показана фотография блока управления компании-поставщика.

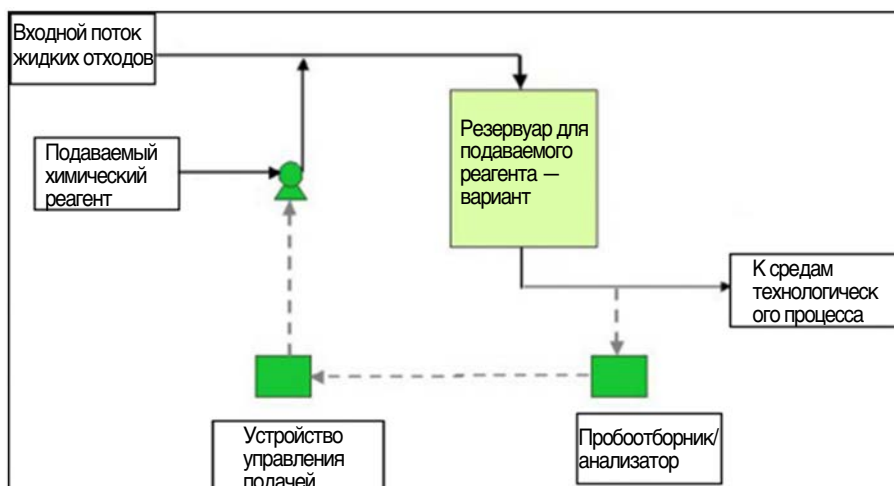


РИС. 5. Схема типичной системы с непрерывной подачей химических реагентов.



РИС. 6. Панель управления системой непрерывной подачи химических реагентов (с разрешения компании «Энерджи солишенз»).

3.2.1.2. Описание отдельных компонентов и элементов

Требования к оборудованию для предварительной химической обработки минимальны и не оказывают значительного влияния на потребности в обслуживании или помещениях для мобильных перерабатывающих установок. Для закачки химреагентов непосредственно из контейнера поставщика в трубопровод системы обычно используется дозирующий насос с питанием 110/220 В перем. тока. Оборудование для дополнительной обработки обычно устанавливается с целью поточной подачи непосредственно в смесительный бак или перед технологическими средами. Эти варианты обеспечивают стабилизацию жидкостей и достаточное время реакции для осаждения до попадания в среду, расположенную ниже по потоку. Оборудование включает в себя:

- автоматизированные или ручные нагнетательные или дозирующие насосы химреагентов;
- дифференциальные датчики электрического потенциала;

- датчики рН и проводимости;
- датчики потокового тока;
- небольшие резервуары для добавления химреагентов с возможностью смешивания.

3.2.1.3. Преимущества данной системы

- Улучшенное удаление активности с минимальным увеличением объема вторичных отходов;
- низкая стоимость;
- небольшой размер системы;
- портативность;
- гибкость: многочисленные типы химреагентов, предназначенных для удаления различных примесей.

3.2.1.4. Ограничения данной системы

- Требуется точной характеристики входящего потока отходов;
- не применима ко всем потокам или характеристикам отходов;
- химреагенты могут требовать особого обращения и контроля;
- может потребоваться установка встраиваемого смесителя, например, механических вихревых лопаток.

3.2.1.5. Основные соображения при выборе

В таблице 4 приведены основные соображения при выборе систем химической нейтрализации и осаждения.

ТАБЛИЦА 4. ОСНОВНЫЕ СООБРАЖЕНИЯ ПРИ ВЫБОРЕ СИСТЕМ ХИМИЧЕСКОЙ НЕЙТРАЛИЗАЦИИ И ОСАЖДЕНИЯ

| Рассматриваемый параметр | Описание |
|---|---|
| Характеристики поступающих и исходных отходов (объем, вид, активность, форма) | Эта технология применима для жидких отходов и шламов. Объем зависит от области применения, и процесс можно использовать для отходов низкого и среднего уровня активности. |
| Характеристики вторичных отходов, образующихся в технологическом процессе (объем, вид, активность, форма) | <ul style="list-style-type: none"> — Данный процесс используется для удаления активности или химических примесей. Вторичные отходы могут быть в виде осажденного шлама (твердых частиц), технологических сред переработки, используемых для улавливания измененных примесей, таких как фильтрующие среды для нерастворимой активности или ионообменная смола для растворимых примесей. — Объем вторичных отходов зависит от концентрации примесей, объема поступающей жидкости и используемого метода удаления. |
| Характеристики окончательной формы отходов (тип контейнера, активность, форма) | Вторичные отходы, как правило, требуют кондиционирования (например, обезвоживания, цементирования, термической обработки) с целью удаления влаги или создания твердого монолита и могут быть упакованы в 200-литровые бочки или другие одобренные контейнеры для отходов. |

ТАБЛИЦА 4. ОСНОВНЫЕ СООБРАЖЕНИЯ ПРИ ВЫБОРЕ СИСТЕМ ХИМИЧЕСКОЙ НЕЙТРАЛИЗАЦИИ И ОСАЖДЕНИЯ (продолж.)

| Рассматриваемый параметр | Описание |
|--|--|
| Нормативно-правовые соображения (национальные, местные, международные, связанные с лицензированием, эксплуатацией, перемещением и транспортировкой) | Необходимо ознакомиться с местными, региональными, национальными или международными правилами, касающимися обращения с химреагентами, их хранения, транспортировки и утилизации. |
| Требования к транспортировке (эксплуатация системы, транспортировка отходов, подъездные дороги) | Никаких особых рекомендаций, кроме тех, которые были рассмотрены выше. |
| Будет ли система использоваться для периодической или непрерывной переработки (система, вторичные отходы) | Система может использоваться в любом режиме в зависимости от применения. Обычно материал периодически добавляется вручную. Для поддержания непрерывных процессов используются системы ручного или автоматизированного дозирования. |
| Расходы: контрактные договоренности (аренда/закупки); периодическая (месяц/год/кампания/объем) установка; расходные материалы; персонал; удаление и утилизация оборудования; транспортировка; окончательная утилизация отходов | Стоимость зависит от типа и расхода химреагентов. Автоматизированные системы непрерывной обработки, как правило, дороже, чем ручные. Автоматизированная система, предназначенная для непрерывной переработки, обычно стоит <10 000 долл. США. |
| Конфигурация системы (мобильная или смонтированная на салазках) | Систему можно сконфигурировать любым указанным образом. Проходки в системе могут включать отводящие патрубки на резервуарах подачи отходов на переработку или на технологических линиях. |
| Занимаемая площадь или физический размер мобильной системы (максимальные размеры, пространство для обращения с технологическими средами/замены/ремонта) | <ul style="list-style-type: none"> — Ручная система: 4 м². — Полностью автоматизированная система: 9 м². |
| Общая масса (для определения нагрузки на пол и перемещения) | <100 кг. |
| Кадровые ресурсы (численность, нанимаемый по контракту персонал, техническая квалификация, операции, физическая безопасность, техническое обслуживание) | <ul style="list-style-type: none"> — Требуется знание химии. — При периодической эксплуатации требуется один работник для добавления химреагентов. — При непрерывной эксплуатации требуется один работник для периодического добавления химреагентов с целью поддержания подачи химреагентов (менее 15 минут на каждый цикл переработки). — Сыпучие химреагенты доставляются на установку и к технологическому оборудованию. |
| Максимальные или оптимальные значения пропускной способности, производительности, коэффициента дезактивации и уменьшения объема | <ul style="list-style-type: none"> — Зависят от конструкции системы; — насыпные, до 40 м³ (смешивание является ограничивающим фактором); — непрерывные, обычно порядка 115 л/мин или менее. |

ТАБЛИЦА 4. ОСНОВНЫЕ СООБРАЖЕНИЯ ПРИ ВЫБОРЕ СИСТЕМ ХИМИЧЕСКОЙ НЕЙТРАЛИЗАЦИИ И ОСАЖДЕНИЯ (продолж.)

| Рассматриваемый параметр | Описание |
|---|--|
| Потребности в помещениях (зона хранения расходных материалов, складирования и хранения отходов) | Различные в зависимости от расхода, обычно 10 м^3. |
| Перечень расходных материалов, необходимых для технологического процесса (технологические среды, контейнеры, детали, химикаты) | Конкретные химреагенты (например, щелочь, кислота, флокулянты), исходя из характеристик входного потока и целевой активности или химических соединений. |
| Общие требования к технологическому обеспечению (воздух, вода, пар, электроснабжение, вентиляция) | — Как правило, 110/220 В перем. тока; — деминерализованная вода. |
| Погрузочно-разгрузочное оборудование, необходимое для размещения, эксплуатации, а также манипулирования с отходами и их упаковки (краны, вилочные погрузчики, грузоподъемность) | — Для перемещения сыпучих химреагентов может потребоваться вилочный или ручной погрузчик. — Некоторые химреагенты поставляются в объемах, обеспечивающих их перемещение вручную (например, в пластиковых контейнерах емкостью 20 кг/19 л). |
| Общие требования промышленной и радиационной безопасности (барьеры, защита органов дыхания, дозиметрический контроль персонала, меры контроля радиоактивного загрязнения, мониторинг воздуха) | В некоторых дополнительных процедурах обработки используются опасные химические вещества. Эти варианты должны быть тщательно оценены на предмет их влияния на оборудование прилегающей рабочей зоны и доступ персонала. Обычно специальные средства радиационного контроля не требуются. |

4. СИСТЕМЫ ОБРАБОТКИ ОТХОДОВ

4.1. ТВЕРДЫЕ ОТХОДЫ

4.1.1. Промывка грунта

4.1.1.1. Описание типичной системы

Процесс промывки грунта обычно состоит из нескольких операций, связанных в рамках интегрированного процесса отделения компонентов грунта от загрязняющих материалов и отделения загрязняющих веществ друг от друга. Большая часть системы основана на широко распространенных технологиях обработки полезных ископаемых, широко используемых в горнодобывающей промышленности, и имеет хорошо известные параметры масштабирования. На рис. 7 показаны основные компоненты системы, имеющейся у одного поставщика.

Система промывки грунта может быть разработана для работы с различными типами грунта, в том числе с умеренно высоким содержанием глины. В большинстве систем промывки грунта разделение загрязненных грунтов производится главным образом по физическому размеру частиц, хотя их можно модифицировать в соответствии с другими физическими параметрами,



РИС. 7. Система промывки грунта (с разрешения компании «Энерджи солюшенз»).

такими как плотность, характеристики флотации или химические, магнитные и электрические свойства. Разделение загрязненных грунтов, содержащих чрезмерное количество глиняного материала (более 40–50%), обычно слишком затруднительно. Минимальный размер частиц составляет около 200 меш (0,075 мм).

Отделенные камни и галька промываются под давлением, а вода используется повторно в аппаратах для мытья под давлением или в качестве питательной воды в системе промывки грунта. С любой водой, используемой для дезактивации оборудования, следует обращаться аналогичным образом.

Через систему промывки грунта пропускаются грунты, отделенные от камней и гальки. Чистые твердые фракции повторно объединяются в чистый грунт и возвращаются на площадку. Небольшой объем загрязненных твердых веществ упаковывается для захоронения или дальнейшей обработки, по мере необходимости. Из системы сбрасывается только вода, являющаяся результатом опорожнения оборудования при окончании работ, и она подвергается обработке и сбрасывается.

Конфигурация мобильных систем промывки грунта монтируется на салазках и загружается на прицепы для транспортировки на площадку и с нее. Основное оборудование для переработки грунта в случае типичной мобильной системы промывки грунта производительностью 20 т/ч может быть установлено на трех платформах прицепов, а вспомогательное оборудование может перевозиться еще на пяти прицепах.

4.1.1.2. Описание отдельных компонентов и элементов

- Конвейеры и бункеры;
- резервуары, насосы и трубопроводы;
- системы приводов;
- гидравлические системы;
- тяжелое оборудование;
- вторичная защитная оболочка.

4.1.1.3. Преимущества данной системы

- Проведение восстановительных работ на площадке.
- Разделение смешанных отходов на их радиоактивные и опасные компоненты обеспечивает их безопасное захоронение на соответствующих площадках для захоронения.
- Полномасштабные операции: непрерывного типа, управление на основе смен.
- Возможны высокие скорости переработки.
- Конструкция системы промывки грунта сводит к минимуму объем вторичных отходов.

4.1.1.4. Ограничения данной системы

- Размеры и сложность развертывания и свертывания работ;
- негативное экологическое воздействие на начальном этапе;
- как правило, высокие затраты;
- промывка грунта осуществляется с соблюдением требований сложной нормативной базы.

4.1.1.5. Основные соображения при выборе

В таблице 5 приведены основные соображения при выборе систем промывки грунта.

ТАБЛИЦА 5. ОСНОВНЫЕ СООБРАЖЕНИЯ ПРИ ВЫБОРЕ СИСТЕМ ПРОМЫВКИ ГРУНТА

| Рассматриваемый параметр | Описание |
|---|---|
| Характеристики поступающих и исходных отходов (объем, вид, активность, форма) | Форма или характеристики потоков отходов, которые чаще всего ассоциируются с мобильными системами промывки грунта, обычно представляют собой большие участки земли с обширными загрязненными радием грунтами и грунтами, содержащими Th и U. Однако другие радиоактивные и нерадиоактивные загрязняющие вещества (As, Cd, Pb, ПХД) также могут потенциально подвергаться обработке с использованием процесса промывки грунта. |
| Характеристики вторичных отходов, образующихся в технологическом процессе (объем, вид, активность, форма) | <ul style="list-style-type: none">— Эфлюенты системы промывки грунта могут включать камни, гальку, гравий, обезвоженный песок, загрязненные мелкие частицы и промывочные/ополаскивающие растворы (водные).— Поток вторичных отходов состоит в основном из промывочной воды и технологического шлама, который образуется в процессе разделения и обычно состоит из воды, реагентов и добавок, таких как кислоты, основания, поверхностно-активные вещества (суфрактанты), растворители и хелатирующие или связывающие агенты, добавляемые для улучшения растворимости или разделения загрязняющих веществ.— В промывочной воде также содержится смесь загрязненных мелких частиц или растворенных загрязняющих веществ.— Технологический шлам — это шлам, образованный в результате удаления растворенных загрязнений или загрязненных мелких частиц в отработанной промывочной воде. |

ТАБЛИЦА 5. ОСНОВНЫЕ СООБРАЖЕНИЯ ПРИ ВЫБОРЕ СИСТЕМ ПРОМЫВКИ ГРУНТА (продолж.)

| Рассматриваемый параметр | Описание |
|--|---|
| Характеристики окончательной формы отходов (тип контейнера, активность, форма) | <p>Большая часть поступающего грунта сбрасывается с уровнями загрязняющих веществ ниже нормативных пределов, в то время как экстрагированные загрязняющие вещества концентрируются в оставшемся грунте для захоронения. Окончательная форма отходов для концентрированного материала будет состоять из загрязненного грунта, который можно либо подвергнуть захоронению на площадке (с локализацией, например, путем поверхностного захоронения с земляной засыпкой), либо упаковать в подходящие контейнеры для захоронения радиоактивных материалов вне площадки. Характеристики окончательной формы отходов зависят от характеристик поступающего грунта и рабочих характеристик системы промывки грунта.</p> |
| Нормативно-правовые соображения (национальные, местные, международные, связанные с лицензированием, эксплуатацией, перемещением и транспортировкой отходов) | <p>Промывка грунта обычно производится с соблюдением требований сложной нормативной базы, которая включает законы, постановления и политику в области воздействия на окружающую среду, связанные с управлением земельными ресурсами и сточными водами.</p> |
| Требования к транспортировке (эксплуатация системы, транспортировка отходов, подъездные дороги) | <ul style="list-style-type: none"> — Большинство экспериментальных мобильных систем перевозятся на двух-четырёх прицепах; для типичной системы производительностью 20 т/ч может потребоваться от восьми до десяти прицепов. — Объем необходимого оборудования зависит от размера проекта. — Оборудование может транспортироваться по автомобильной или железной дороге (при условии, что будет разрешен доступ к площадке). — Для проведения работ по размещению на площадке, наладке и окончательному удалению отходов требуется разрешение на использование дорог. |
| Режим использования: периодическая или непрерывная переработка (система, вторичные отходы) | <ul style="list-style-type: none"> — Экспериментальные системы могут обеспечивать периодическую или непрерывную переработку. — Полномасштабные операции выполняются непрерывно с управлением на основе рабочих смен. |
| Расходы: контрактные договоренности (аренда/закупки); периодическая (месяц/год/кампания/объем) установка; расходные материалы; персонал; удаление и утилизация оборудования; транспортировка; окончательная утилизация отходов | <ul style="list-style-type: none"> — Системы промывки грунта обычно дороги и требуют значительных денежных инвестиций в строительство, хранение, развертывание и обслуживание. — Типовые контрактные договоренности включают плату за развертывание и свертывание работ с единовременной ставкой, основанной на скорректированном сухом весе грунта в тоннах в час. — Расходы на эксплуатационные трудозатраты и расходные материалы (например, реагенты) обычно включаются в единовременную ставку. — Статьи расходов могут включать лабораторные испытания, экспериментальные испытания, выбор оборудования, рассмотрения проекта, закупки, изготовление, наладку на площадке и запуск системы. |

ТАБЛИЦА 5. ОСНОВНЫЕ СООБРАЖЕНИЯ ПРИ ВЫБОРЕ СИСТЕМ ПРОМЫВКИ ГРУНТА (продолж.)

| Рассматриваемый параметр | Описание |
|--|---|
| | <ul style="list-style-type: none"> — Статьи эксплуатационных расходов могут включать сбор, переработку, перепланировку грунта, электроснабжение, тяжелое оборудование, воздух, вспомогательные резервуары, ионообменные колонны, отбор проб, лабораторный анализ и захоронение первичных и вторичных отходов. |
| <p>Конфигурация системы (мобильная или смонтированная на салазках)</p> | <ul style="list-style-type: none"> — Обычно монтируется на салазках и загружается на прицепы для транспортировки на площадку и с нее. — Основное оборудование для переработки грунта в случае типичной мобильной системы промывки грунта производительностью 20 т/ч может быть установлено на трех платформах прицепов, а вспомогательное оборудование может перевозиться еще на пяти прицепах. |
| <p>Занимаемая площадь или физический размер мобильной системы (максимальные размеры, пространство для обращения с технологическими средами/замены/ремонта)</p> | <p>Для типичной системы производительностью 20 т/ч требуется площадка 37 м × 46 м; для экспериментальной системы производительностью 4 т/ч требуется площадка 15 м × 21 м.</p> |
| <p>Общая масса (для определения нагрузки на пол и перемещения)</p> | <ul style="list-style-type: none"> — Общая масса и нагрузка на зону размещения (нагрузка на пол) могут существенно различаться в зависимости от производительности и конфигурации оборудования. — Надлежащие фундаменты для размещения оборудования для промывки грунта могут сильно различаться в зависимости от физических ограничений на площадке. — Они могут представлять собой как простой фундамент, состоящий из синтетической подложки, песка или гравия, так и асфальтовую или бетонную плиту для поддержки и размещения оборудования. — Поверхность вокруг оборудования для промывки грунта обычно разравнивают таким образом, чтобы вода стекала из рабочей зоны, примыкающей к зоне обработки. |
| <p>Кадровые ресурсы (численность, нанимаемый по контракту персонал, техническая квалификация, операции, физическая безопасность, техническое обслуживание)</p> | <ul style="list-style-type: none"> — Возможна непрерывная эксплуатация в круглосуточном режиме (24 ч/сут.). — Следует предусмотреть ~10% простоев для технического обслуживания оборудования. — Типичная группа развертывания работ на площадке состоит из 10-20 человек. |
| <p>Максимальные или оптимальные значения пропускной способности, производительности, коэффициента дезактивации и уменьшения объема</p> | <ul style="list-style-type: none"> — Скорости подачи отходов составляют ~1–2 т/ч для небольших экспериментальных систем и до 50 т/ч для более крупномасштабных систем. — Система производительностью 20 т/ч может перерабатывать в среднем более 900 т грунта в неделю (в режиме 6 сут/неделю, 9 ч/сут, для грунта с высоким содержанием глины). — Типичные объемы проекта составляют от тысяч тонн до сотен тысяч тонн. — Более высокие скорости переработки возможны в зависимости от конкретных характеристик грунта и загрязнений или пропускной способности системы. |

ТАБЛИЦА 5. ОСНОВНЫЕ СООБРАЖЕНИЯ ПРИ ВЫБОРЕ СИСТЕМ ПРОМЫВКИ ГРУНТА (продолж.)

| Рассматриваемый параметр | Описание |
|---|--|
| Потребности в помещениях (зона хранения расходных материалов, складирования и хранения отходов) | Реагенты и добавки, используемые на установке для обработки, требуют хранения в резервуарах, бочках или других контейнерах из соответствующего материала. |
| Перечень расходных материалов, необходимых для технологического процесса (технологические среды, контейнеры, детали, химреагенты) | <ul style="list-style-type: none"> — Широкий спектр реагентов и добавок, таких как кислоты, основания, поверхностно-активные вещества (суфрактанты), растворители и хелатирующие или связывающие агенты. — Химреагенты могут включать флокулянты, диспергирующие агенты, кислотные или щелочные экстрагенты и химреагенты для регулирования pH. — Для очистки и последующего сброса промывочной воды может дополнительно потребоваться ионообменная фильтрующая среда. |
| Общие требования к технологическому обеспечению (воздух, вода, пар, электроснабжение, вентиляция) | <ul style="list-style-type: none"> — Вода; — дизельное топливо для энергетического оборудования; — электроснабжение 110 и 220 В перем. тока для освещения, оборудования радиационного контроля, ремонтного оборудования и оборудования для обеспечения физической безопасности. |
| Погрузочно-разгрузочное оборудование, необходимое для размещения, эксплуатации, а также манипулирования с отходами и их упаковки (краны, вилочные погрузчики, грузоподъемность) | Как правило, кран и вилочный погрузчик. |
| Общие требования промышленной и радиационной безопасности (барьеры, защита органов дыхания, дозиметрический контроль персонала, меры контроля радиоактивного загрязнения, мониторинг воздуха) | <ul style="list-style-type: none"> — Для минимизации аэрозольного, а также связанного с отходами и промывочной водой загрязнения в результате осуществления данного процесса требуются стандартные операции по обеспечению радиационной безопасности, включая применение локализованных технических мер контроля (например, вытяжной вентиляции). — Под отвалами грунта часто размещают подкладку из геомембранной ткани, чтобы предотвратить попадание загрязненного фильтрата в окружающую среду. — Для предотвращения попадания в отвалы грунта атмосферных осадков и сведения к минимуму возможных выбросов летучих веществ и пыли часто используется покрытие, устойчивое к ультрафиолетовому излучению (например, стабилизированный полиэтилен). — Для подавления пылеобразования часто используются дополнительные меры по борьбе с пылью, такие как смачивание поверхностей отвалов. — Для предотвращения поступления и стока воды вокруг отвалов часто создаются бермы/насыпи или другие подходящие средства отвода (например, дренажные каналы). — Общие требования по защите персонала при эксплуатации предусматривают применение защитной одежды, дозиметрии и средств промышленной безопасности (средств защиты глаз, защитной обуви). — Как правило, защита органов дыхания не требуется, за исключением редких случаев дезактивации внутренних компонентов системы. |

Примечание: ПХД — полихлорированный дифенил.

4.1.2. Отделение кабельной изоляции

4.1.2.1. Описание типичной системы

Данная система используется после предварительной обработки медных проводов и кабелей, включая очистку, сортировку и удаление внешней изоляции. Отделение изоляции кабеля от внутреннего медного провода происходит на установке для разделки с использованием механических процессов (см. рис. 8). Значительное преимущество этого процесса заключается в том, что загрязнение отделяется от внутреннего проводника, поскольку загрязнению обычно подвергается только изоляция кабеля. В этом процессе материал загружается в установку для разделки кабеля с помощью конвейерной ленты. Затем в устройстве предварительной разделки он подготавливается к гранулированию. Разделка происходит в ножевой мельнице. Вследствие агрессивного механического воздействия в ножевой мельнице большая часть загрязнения удаляется из изоляции. Сортировка медной и изоляционной фракций осуществляется посредством пневматического и вибрационного механического разделения, а образующаяся пыль собирается и разделяется.

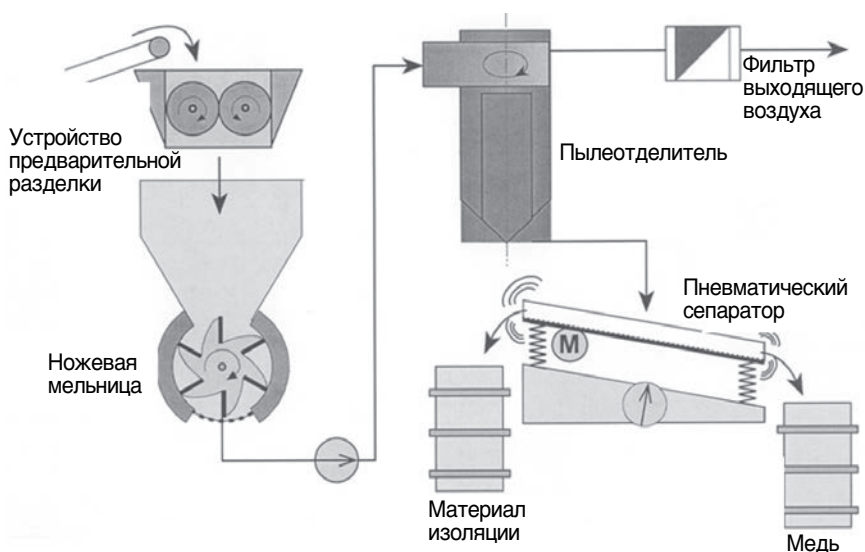


РИС. 8. Технологическая схема системы отделения кабельной изоляции (с разрешения компании «ГНС гезельшафт фюр нуклеар сервис мбХ»).

4.1.2.2. Описание отдельных компонентов и элементов

Система включает следующие основные компоненты:

- устройство предварительной обработки (очистки, сортировки, удаления внешней изоляции);
- устройство предварительной разделки;
- ножевую мельницу;
- пылеотделитель;
- пневматический сепаратор (для отделения меди от изоляции воздушным потоком);
- систему вентиляции с очисткой газообразных эфлюентов (воздушный фильтр);
- сбор меди и материала изоляции.

4.1.2.3. Преимущества данной системы

- Медь, которая может быть пригодна для дальнейшего использования без ограничений;
- некоторые изоляционные материалы, которые могут быть пригодны для дальнейшего использования без ограничений;
- эффективное уменьшение объема радиоактивных отходов;
- низкие общие расходы: минимизация затрат на захоронение; перепродажа меди; расходы на кампанию мобильной системы меньше, чем в случае стационарной системы.

4.1.2.4. Ограничения данной системы

- Возможна обработка кабелей диаметром до 120 мм;
- необходима предварительная обработка;
- подходит только для медного кабеля.

4.1.2.5. Основные соображения при выборе

В таблице 6 приведены основные соображения при выборе систем отделения кабельной изоляции.

ТАБЛИЦА 6. ОСНОВНЫЕ СООБРАЖЕНИЯ ПРИ ВЫБОРЕ СИСТЕМ ОТДЕЛЕНИЯ КАБЕЛЬНОЙ ИЗОЛЯЦИИ

| Рассматриваемый параметр | Описание |
|---|--|
| Характеристики поступающих и исходных отходов (объем, вид, активность, форма) | <ul style="list-style-type: none">— Подготовленные и разрезанные на отрезки медные кабели (включая отдельные жилы медного проводника и соответствующий изоляционный материал);— Максимальный диаметр кабеля составляет 120 мм; обычно находится в диапазоне 40–60 мм. |
| Характеристики вторичных отходов, образующихся в технологическом процессе (объем, вид, активность, форма) | Си в гранулах (10% объема), изоляция в гранулах (50% объема), пыль (40% объема). |
| Характеристики окончательной формы отходов (тип контейнера, активность, форма) | <ul style="list-style-type: none">— Си: может быть пригодна для дальнейшего использования без ограничений.— Изоляция: частично может быть пригодна для дальнейшего использования без ограничений, а частично потребует захоронения в качестве радиоактивных отходов (может использоваться в качестве заполнителя пустот).— Пыль: захоронение в качестве радиоактивных отходов. |
| Нормативно-правовые соображения (национальные, местные, международные, связанные с лицензированием, эксплуатацией, перемещением и транспортировкой отходов) | Обработка загрязненного кабеля на существующей ядерной установке потребует подтверждения того, что процесс может быть выполнен с соблюдением существующей основы безопасности установки и местных, региональных и национальных нормативных актов. |

ТАБЛИЦА 6. ОСНОВНЫЕ СООБРАЖЕНИЯ ПРИ ВЫБОРЕ СИСТЕМ ОТДЕЛЕНИЯ КАБЕЛЬНОЙ ИЗОЛЯЦИИ (продолж.)

| Рассматриваемый параметр | Описание |
|--|---|
| Требования к транспортировке (эксплуатация системы, транспортировка отходов, подъездные дороги) | <ul style="list-style-type: none"> — Перевозка в двух контейнерах ИСО; — для установки системы на принимающей площадке требуется кран. |
| Режим использования: периодическая или непрерывная переработка (система, вторичные отходы) | Система может эксплуатироваться как в периодическом, так и в непрерывном режиме. |
| Расходы: контрактные договоренности (аренда/закупки); периодическая (месяц/год/кампания/объем) установка; расходные материалы; персонал; удаление и утилизация оборудования; транспортировка; окончательная утилизация отходов | Экономически выгодна для 10–11 т кабелей в рамках одной кампании по сравнению с прямым захоронением в качестве радиоактивных отходов. |
| Конфигурация системы (мобильная или смонтированная на салазках) | Транспортабельная система: два контейнера ИСО, собранные один над другим. |
| Занимаемая площадь или физический размер мобильной системы (максимальные размеры, пространство для обращения с технологическими средами/замены/ремонта) | Занимаемая площадь пола: 10 м × 5 м × 6 м высотой (под краном). |
| Общая масса (для определения нагрузки на пол и перемещения) | До 16 т. |
| Кадровые ресурсы (численность, нанимаемый по контракту персонал, техническая квалификация, операции, физическая безопасность, техническое обслуживание) | <p>Минимальная численность персонала:</p> <ul style="list-style-type: none"> — один оператор оборудования (требуется подготовка, навыки и опыт); — два неквалифицированных работника для предварительной обработки. |
| Максимальная или оптимальная пропускная способность и производительность, а также уменьшение объема | <ul style="list-style-type: none"> — 200–400 кг/ч первичных отходов; — коэффициенты уменьшения объема 20–25. |
| Потребности в помещениях (зона хранения расходных материалов, складирования и хранения отходов) | <ul style="list-style-type: none"> — Особые требования отсутствуют; — пространство для хранения отходов зависит от объема переработанных отходов. |
| Перечень расходных материалов, необходимых для технологического процесса (технологические среды, контейнеры, детали, химреагенты) | Фильтры HEPA. |

ТАБЛИЦА 6. ОСНОВНЫЕ СООБРАЖЕНИЯ ПРИ ВЫБОРЕ СИСТЕМ ОТДЕЛЕНИЯ КАБЕЛЬНОЙ ИЗОЛЯЦИИ (продолж.)

| Рассматриваемый параметр | Описание |
|---|---|
| Общие требования к технологическому обеспечению (воздух, вода, пар, электроснабжение, вентиляция) | <ul style="list-style-type: none"> — Электроснабжение: 400 В перем. тока, 50 Гц; ~100 кВт. — Вентиляционная система для отработанного воздуха системы. |
| Погрузочно-разгрузочное оборудование, необходимое для размещения, эксплуатации, а также манипулирования с отходами и их упаковки (краны, вилочные погрузчики, грузоподъемность) | Один кран (10 т) для размещения и один вилочный погрузчик для манипулирования с отходами. |
| Общие требования промышленной и радиационной безопасности (барьеры, защита органов дыхания, дозиметрический контроль персонала, меры контроля радиоактивного загрязнения, мониторинг воздуха) | <ul style="list-style-type: none"> — Опасности, связанные с шумностью; — меры контроля радиоактивного загрязнения; — опасности споткнуться; — управление вилочным погрузчиком; — подъем и резка кабелей. |

Примечание: Фильтр HEPA — высокоэффективный сухой воздушный фильтр.

4.2. ЖИДКИЕ И ВЛАЖНЫЕ ТВЕРДЫЕ ОТХОДЫ

4.2.1. Дезактивация радиоактивных масел

В некоторых реакторных системах масла используются в качестве смазочных материалов, а также в качестве рабочих жидкостей гидроприводов механических систем. Во время эксплуатации в случае утечки масло может подвергнуться радиоактивному загрязнению. Например, в канадских тяжеловодных урановых ядерных реакторах (CANDU) этот поток отходов может быть значительным, так как работающие без остановки перегрузочные машины могут приводить к образованию нескольких сотен литров отработанного масла в год. Более современные заводы избежали этой проблемы путем использования в своих перегрузочных машинах пневматических систем.

Высокое содержание тепловой энергии в маслах делает сжигание привлекательным способом для переработки и утилизации отработанных масел. Однако это не всегда возможно. В Канаде разработан альтернативный процесс удаления из отработанного масла широкого спектра радиоактивных загрязнителей [20].

4.2.1.1. Описание типичной системы

В зависимости от того, нужно ли удалять из масла бета/гамма-активность или тритий, были разработаны два различных процесса. Процесс удаления бета/гамма-активности показан на рис. 9.

Этот процесс основан на обширных исследованиях и разработках, в ходе которых было установлено, что радиоактивные соединения инкорпорируются в состав присадок, содержащихся в смеси смазочного масла, в виде органических комплексов. В процессе используется каталитическое термическое окисление, которое приводит к разложению этих присадок и превращению их в твердые частицы в масле, которые могут быть удалены механическим путем. Процесс является

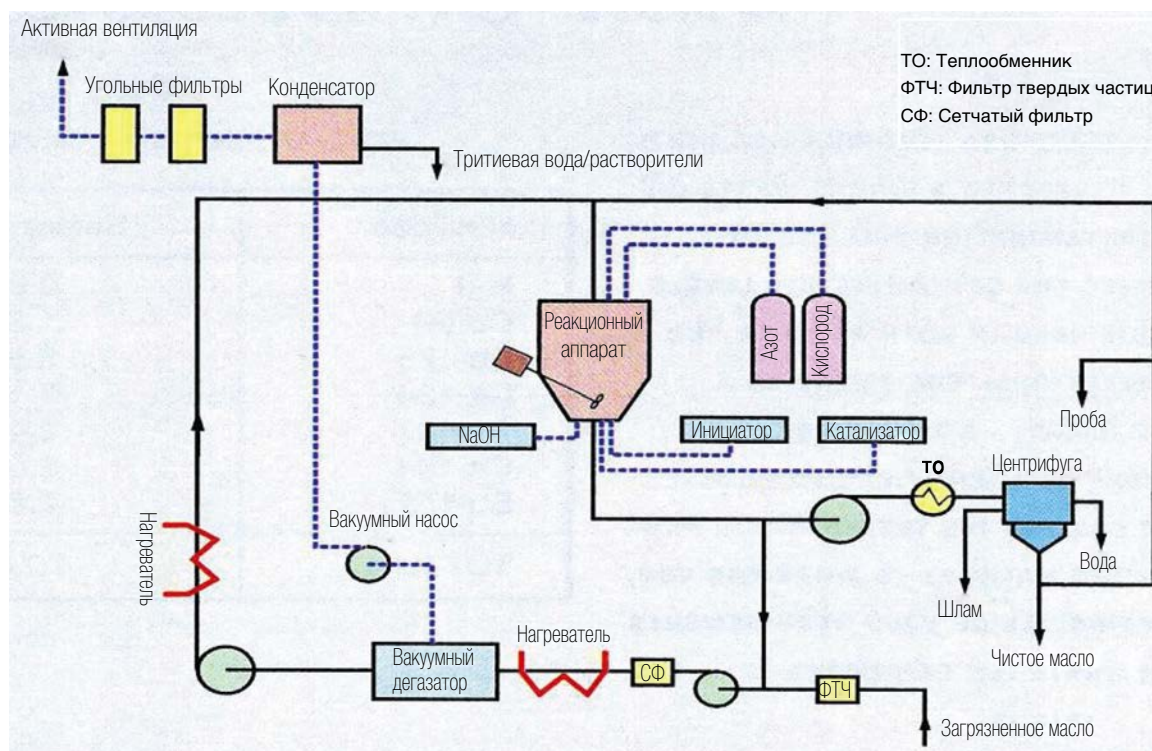


РИС. 9. Упрощенная технологическая схема процесса дезактивации отработанного масла.

периодическим, так как кинетика окисления довольно медленная (часы). Отработанное масло рециркулируется через сетчатый фильтр, фильтр твердых частиц и встроенный нагреватель, который питает вакуумный дегазатор, удаляющий взвешенную и растворенную воду. Рециркуляция продолжается до тех пор, пока температура масла не достигнет 180–200°C. Затем через масло барботируют газообразный кислород и добавляют инициатор (гидропероксид кумола) и катализатор (нафтенат меди), чтобы запустить процесс окисления. Далее масло перемешивается в течение 3–6 часов и пропускается через центрифугу для удаления шлама. Результаты периодического пробоотбора используются для определения момента, когда достигнуто целевое значение коэффициента дезактивации. Получаемое в результате масло не имеет загрязнений. Этот процесс также позволяет удалять обычные загрязняющие вещества, такие как кадмий и свинец.

Если загрязняющим веществом в масле является преимущественно тритий в виде воды, насыщенной тритием, то процесс термического окисления можно обойти, и требуется только работа установки вакуумной дегазации. Однако при наличии в масле значительных количеств воды, насыщенной тритием, нелетучие органические вещества, связанные с присадками в масле, захватывают тритий, и вакуумная дегазация сама по себе не может снизить концентрацию трития в масле до приемлемых для сброса уровней. Для этого потока отходов необходимо предусмотреть колонку с активированным глиноземом, с тем чтобы удалить полярные нелетучие тритийсодержащие соединения. На рис. 10 показана экспериментальная версия установки дегазации и колонка с активированным глиноземом.

4.2.1.2. Описание отдельных компонентов и элементов

Система состоит из:

- смесительного бака;
- проточных нагревателей;



Рис. 10. Система дезактивации масла: блок вакуумного дегазатора и колонка с активированным глиноземом (с разрешения компании «Кинектрикс»).

- вакуумного дегазатора;
- центрифуги;
- системы осушителя на основе конденсатора и влагопоглотителя для удаления насыщенных тритием загрязненных газов.

4.2.1.3. Преимущества данной системы

- Представляет собой альтернативу сжиганию;
- конечный продукт может быть переработан;
- идеально подходит для небольших объемов проблемных масел (например, загрязненных полихлорированными дифенилами);
- простые отдельные операции;
- простота в эксплуатации.

4.2.1.4. Ограничения данной системы

- Кинетика окисления относительно медленная;
- шлам вторичных отходов необходимо подвергнуть кондиционированию перед захоронением.

4.2.1.5. Основные соображения при выборе

В таблице 7 приведены основные соображения при выборе систем дезактивации радиоактивного масла.

ТАБЛИЦА 7. ОСНОВНЫЕ СООБРАЖЕНИЯ ПРИ ВЫБОРЕ СИСТЕМ ДЕЗАКТИВАЦИИ РАДИОАКТИВНОГО МАСЛА

| Рассматриваемый параметр | Описание |
|--|---|
| Характеристики поступающих и исходных отходов (объем, вид, активность, форма) | <ul style="list-style-type: none"> — Смазочное масло, смешанное с взвешенной и растворенной водой, которое содержит смешанные продукты деления и активации, образовавшиеся в ходе нормальной эксплуатации электростанции. — В отработанном масле на реакторах CANDU также содержатся уровни ^3H порядка МБк/л в виде тритиевой воды и ^3H в составе органических соединений. |
| Характеристики вторичных отходов, образующихся в технологическом процессе (объем, вид, активность, форма) | <ul style="list-style-type: none"> — Шлам отходов и тритиевая вода из системы очистки отходящих газов; — достижимо значение коэффициента уменьшения объема, равное 100; — скорость образования шлама вторичных отходов пропорциональна продолжительности переработки. |
| Характеристики окончательной формы отходов (тип контейнера, активность, форма) | Небольшой объем радиоактивных масляных частиц, которые могут быть упакованы и захоронены в ВПК. |
| Нормативно-правовые соображения (национальные, местные, международные, связанные с лицензированием, эксплуатацией, перемещением и транспортировкой отходов) | <ul style="list-style-type: none"> — Крупномасштабная переработка потребует разрешения регулируемыми органами работ на площадке переработки. — Может также потребоваться разрешение регулирующих органов на выбросы воздуха, поскольку в выбросах системы удаления отходящих газов могут содержаться летучие углеводороды, образовавшиеся в горячем масле. |
| Требования к транспортировке (эксплуатация системы, транспортировка отходов, подъездные дороги) | Монтируется и собирается на салазках на площадке переработки. |
| Режим использования: периодическая или непрерывная переработка (система, вторичные отходы) | Периодическое использование |
| Расходы: контрактные договоренности (аренда/закупки); периодическая (месяц/год/кампания/объем) установка; расходные материалы; персонал; удаление и утилизация оборудования; транспортировка; окончательная утилизация отходов | <ul style="list-style-type: none"> — Мобильная система, созданная в соответствии со стандартами проектирования ядерных объектов, стоит <50 000 долл. США, в зависимости от размера. — Закупка может оказаться неэффективной с точки зрения затрат (между кампаниями по переработке отходов оборудование будет простаивать). — Перед проведением кампании по переработке требуется два дня для сборки оборудования и проверки его работоспособности. |
| Конфигурация системы (мобильная или смонтированная на салазках) | Как правило, монтируется на салазках, но в зависимости от объема подлежащего переработке масла можно также использовать мобильную систему. |

ТАБЛИЦА 7. ОСНОВНЫЕ СООБРАЖЕНИЯ ПРИ ВЫБОРЕ СИСТЕМ ДЕЗАКТИВАЦИИ РАДИОАКТИВНОГО МАСЛА (продолж.)

| Рассматриваемый параметр | Описание |
|---|--|
| Занимаемая площадь или физический размер мобильной системы (максимальные размеры, пространство для обращения с технологическими средами/замены/ремонта) | Максимальный требуемый размер – 12-метровый контейнер ИСО на прицепе. |
| Общая масса (для определения нагрузки на пол и перемещения) | Как правило, проблема возникает только в том случае, если в масле присутствуют высокие уровни радиоактивности и необходимо использовать защитное экранирование. |
| Кадровые ресурсы (численность, нанимаемый по контракту персонал, техническая квалификация, операции, физическая безопасность, техническое обслуживание) | Два работника, имеющие квалификацию специалиста по химическому оборудованию. |
| Максимальные или оптимальные значения пропускной способности, производительности, коэффициента дезактивации и уменьшения объема | <ul style="list-style-type: none"> — Зависят от степени загрязнения масла и требуемой степени чистоты. — В отношении бета-активности и гамма-активности может быть достигнуто значение коэффициента дезактивации, равное 100. — В отношении загрязнения ^3H можно ожидать более низкие значения коэффициента дезактивации. — Возможно уменьшение объема в 100 раз, но это зависит от продолжительности переработки. |
| Потребности в помещениях (зона хранения расходных материалов, складирования и хранения отходов) | 5 м ² для расходных материалов. |
| Перечень расходных материалов, необходимых для технологического процесса (технологические среды, контейнеры, детали, химреагенты) | <ul style="list-style-type: none"> — Гомогенный катализатор: нафтенат меди. — Инициатор: гидропероксид кумола. — Газообразный O₂. — Чистые бочки для дезактивированных масел. — Контейнеры (бочки) для хранения шламовых отходов. |
| Общие требования к технологическому обеспечению (воздух, вода, пар, электроснабжение, вентиляция) | <ul style="list-style-type: none"> — Электроснабжение: 600 В для подогрева масла и центрифугирования; 110/220 В для других электрических нагрузок (насосы, освещение, вентиляторы, смесители). — Вентиляция или принудительная вентиляция, при условии, что в масле присутствуют радиоактивные летучие загрязнители ($^{14}\text{CO}_2$, тритийсодержащий водяной пар). — Противопожарная система; — Техническая вода для охлаждения масла перед удалением шлама путем центрифугирования. |
| Погрузочно-разгрузочное оборудование, необходимое для размещения, эксплуатации, а также манипулирования с отходами и их упаковки (краны, вилочные погрузчики, грузоподъемность) | Погрузка и разгрузка бочек. |

ТАБЛИЦА 7. ОСНОВНЫЕ СООБРАЖЕНИЯ ПРИ ВЫБОРЕ СИСТЕМ ДЕЗАКТИВАЦИИ РАДИОАКТИВНОГО МАСЛА (продолж.)

| Рассматриваемый параметр | Описание |
|---|---|
| Общие требования промышленной и радиационной безопасности (барьеры, защита органов дыхания, дозиметрический контроль персонала, меры контроля радиоактивного загрязнения, мониторинг воздуха) | <ul style="list-style-type: none"> — При высокой активности масла необходимо переносное экранирование реакционного аппарата и центрифуги. — Процесс окисления протекает при 180–200°C, поэтому нагреватель и реакционный аппарат должны быть изолированы. — Вся система, включая питающие бак и бочки, а также бак и бочки с продукцией, должна быть окружена бермой/обваловкой, объем которой в два раза превышает запас жидкости в системе. — Требуется оборудование для контроля и очистки при разливах. — Необходимо обеспечить очистку воздуха от летучих органических соединений (угольная фильтрация) и конденсирование любых водяных паров, образующихся при окислении. — При обращении с радиоактивными жидкостями необходимо использовать средства индивидуальной защиты. — При работе с тритийсодержащими маслами необходимо использовать респиратор с картриджем для фильтрации ³H. — Если масло содержит значительное количество ³H, то в системе вентиляции после угольного фильтра необходимо установить монитор содержания ³H в воздухе с целью оценки выбросов в окружающую среду и производительности конденсатора и фильтров. |

Примечание: CANDU — канадский тяжеловодный урановый ядерный реактор; ВПК — высокопрочный контейнер.

4.2.2. Фильтрация

4.2.2.1. Описание типичной системы

Системы фильтрации водных отходов используются для удаления нерастворимых примесей и получения желательного эффлюента с целью его удаления или дальнейшей переработки. На рис. 11 показана типичная мобильная система фильтрации. Она состоит из резервуара, содержащего гофрированный картридж, картридж с намоткой или мешочные фильтрующие элементы, насоса, создающего разность давлений, клапанов и соединительных шлангов. В некоторых областях применения могут использоваться такие среды, как углерод, песок, диатомитовая земля или другие специальные материалы. Системы фильтрации часто сочетаются с дополнительными технологиями обработки, такими как химическая предварительная обработка, выпаривание, кристаллизация, ионообменные или мембранные технологии, с целью дальнейшего повышения качества эффлюентов.

4.2.2.2. Описание отдельных компонентов и элементов

- Корпус(а) фильтра;
- индикатор перепада давления;
- инструменты для работы с фильтрами (демонтажа и замены);
- фильтрующие элементы;
- насосы или другое оборудование для создания движущей разности давлений жидкости;
- шланги или трубопроводы;



РИС. 11. Мобильный диафрагменный насос с пневматическим приводом для фильтрации водных сред (слева, с разрешения компании «Вердер ГПМ») и корпус фильтра и картриджный фильтрующий элемент (справа, с разрешения корпорации «Три ньюклеар»).

- впускные и выпускные клапаны;
- электропитание или сжатый воздух для электрических или пневматических насосов;
- защитные экраны при перемещениях (для применения в условиях высокой активности).

4.2.2.3. Преимущества данной системы

- Может быть весьма эффективной при использовании простых конструкций;
- требует мало места;
- простая технология снижает уровень необходимых для работы знаний;
- недорогая.

4.2.2.4. Ограничения данной системы

- Не всегда эффективна в отношении растворимых соединений (некоторые исключения для фильтрующих элементов, пропитанных ионообменным материалом);
- низкая эффективность упаковки отходов в случае гофрированных картриджей и картриджей с нитяной намоткой (увеличение объема после упаковки);
- для фильтрующих материалов, отличных от картриджей или мешков, может потребоваться дополнительное оборудование, такое как шлюзовое оборудование, а также технические знания для замены таких материалов.

4.2.2.5. Основные соображения при выборе

В таблице 8 приведены основные соображения при выборе систем фильтрации водных отходов.

ТАБЛИЦА 8. ОСНОВНЫЕ СООБРАЖЕНИЯ ПРИ ВЫБОРЕ СИСТЕМ ФИЛЬТРАЦИИ ВОДНЫХ ОТХОДОВ

| Рассматриваемый параметр | Описание |
|--|---|
| Характеристики поступающих и исходных отходов (объем, вид, активность, форма) | <ul style="list-style-type: none"> — Объемы зависят от применения; — как правило, жидкие, с нерастворенными химическими или радиоактивными примесями; — концентрация может находиться в диапазоне от весьма низкой до 10-15% по массе (шлам, ил); — уровни активности могут быть от весьма низких до средних. |
| Характеристики вторичных отходов, образующихся в технологическом процессе (объем, вид, активность, форма) | <ul style="list-style-type: none"> — Картриджные элементы и мешки являются твердыми материалами и могут быть упакованы в демонтированном состоянии после слива остатков жидкости. — насыпные фильтрующие среды (углерод, песок, диатомовая земля) будут иметь первоначальный вид, но более высокую плотность и активность и могут потребовать дополнительной сушки, герметизации, цементирования или проверки слива жидкости. |
| Характеристики окончательной формы отходов (тип контейнера, активность, форма) | Могут быть упакованы в различные контейнеры для отходов, включая 200-литровые бочки, контейнеры из полиэтилена высокой плотности, ящики или другие контейнеры, одобренные с учетом химических, физических и связанных с активностью характеристик отходов. |
| Нормативно-правовые соображения (национальные, местные, международные, связанные с лицензированием, эксплуатацией, перемещением и транспортировкой отходов) | <ul style="list-style-type: none"> — Должны соответствовать местным, региональным, национальным и стандартам проектирования, упаковки, хранения, транспортировки и захоронения систем. — В отношении отходов более высокой активности требуются дополнительные меры предосторожности с целью контроля рассеивания, а также облучения работников и населения. |
| Требования к транспортировке (эксплуатация системы, транспортировка отходов, подъездные дороги) | <ul style="list-style-type: none"> — Систему, как правило, очень легко перемещать либо в виде встроеного блока на колесах, либо с помощью подъемного оборудования. — Транспортировка новых систем возможна через обычного коммерческого перевозчика. — Особые требования к транспортировке отсутствуют. |
| Режим использования: периодическая или непрерывная переработка (система, вторичные отходы) | <ul style="list-style-type: none"> — Система может использоваться в любом из указанных режимов. — Нечастая периодическая переработка может со временем приводить к ухудшению качества фильтрующей среды. — Рекомендуется проконсультироваться с производителем фильтрующей среды с целью получения рекомендаций по частоте замены при непрерывной или периодической эксплуатации. |
| Расходы: контрактные договоренности (аренда/закупки); периодическая (месяц/год/кампания/объем) установка; расходные материалы; персонал; удаление и утилизация оборудования; транспортировка; окончательная утилизация отходов | Обычно стоимость системы невелика (<10 000 долл. США за конфигурацию с одним резервуаром и насосом), и закупка, как правило, является наиболее экономичным вариантом. Однако при одноразовом или очень нечастом использовании необходимо рассмотреть возможность аренды на период кампании. |
| Конфигурация системы (мобильная или смонтированная на салазках) | Может быть указана любая. |

ТАБЛИЦА 8. ОСНОВНЫЕ СООБРАЖЕНИЯ ПРИ ВЫБОРЕ СИСТЕМ ФИЛЬТРАЦИИ ВОДНЫХ ОТХОДОВ (продолж.)

| Рассматриваемый параметр | Описание |
|---|--|
| Занимаемая площадь или физический размер мобильной системы (максимальные размеры, пространство для обращения с технологическими средами/замены/ремонта) | Конфигурация с одним резервуаром и одним насосом требует <math><4\text{ м}^2</math> для установки на салазках и доступа для замены. Оптимально, более типичным вариантом является площадь 10 м^2 . |
| Общая масса (для определения нагрузки на пол и перемещения) | <math><770\text{ кг}</math> с защитным экраном (относится к фильтрам до $0,20\text{ Зв/ч}$). |
| Кадровые ресурсы (численность, нанимаемый по контракту персонал, техническая квалификация, операции, физическая безопасность, техническое обслуживание) | Один оператор должен по мере необходимости запускать и останавливать систему, а также оценивать разность давлений (частота изменяется в зависимости от требований площадки или ожидаемой скорости увеличения). |
| Максимальные или оптимальные значения пропускной способности, производительности, коэффициента дезактивации и уменьшения объема | Зависят от применения; обычно в диапазоне значений расхода от 1 л/мин до $>2000\text{ л/мин}$. |
| Потребности в помещениях (зона хранения расходных материалов, складирования и хранения отходов) | <ul style="list-style-type: none"> — Необходимое пространство для фильтрующей среды зависит от ее типа. — Для картриджных элементов обычно $0,01\text{--}0,1\text{ м}^3$ на каждый. |
| Перечень расходных материалов, необходимых для технологического процесса (технологические среды, контейнеры, детали, химреагенты) | <ul style="list-style-type: none"> — Фильтрующие среды; — диафрагмы для устройств с пневмоприводом. |
| Общие требования к технологическому обеспечению (воздух, вода, пар, электроснабжение, вентиляция) | <ul style="list-style-type: none"> — Осушенный сжатый воздух для насоса с пневмоприводом; — 220 В перем. тока для типичной эксплуатации электрического насоса; — после демонтажа отработанного элемента может потребоваться чистая промывочная вода для промывки резервуара. |
| Погрузочно-разгрузочное оборудование, необходимое для размещения, эксплуатации, а также манипулирования с отходами и их упаковки (краны, вилочные погрузчики, грузоподъемность) | <ul style="list-style-type: none"> — Колесный модуль, вилочный погрузчик или ручная тележка, в зависимости от размера; — для труднодоступных мест может потребоваться кран малой грузоподъемности. |
| Общие требования промышленной и радиационной безопасности (барьеры, защита органов дыхания, дозиметрический контроль персонала, меры контроля радиоактивного загрязнения, мониторинг воздуха) | <ul style="list-style-type: none"> — Для контроля доступа к оборудованию во время и после использования необходимы барьеры, обеспечивающие радиационную безопасность; — для замены отработанных фильтрующих сред необходима зона контроля загрязнения; — необходима сменная защитная одежда для персонала, как правило, в водонепроницаемом исполнении; — меры контроля загрязнения воздуха обычно не требуются. |

4.2.3. Фильтрация и ионный обмен

4.2.3.1. Описание типичной системы

Здесь рассматривается мобильная система фильтрации и ионообменной обработки, разработанная и используемая Центром атомных исследований им. Бхабхи (ЦАИБ), Индия, для обработки потока щелочных отходов промежуточного уровня активности (см. рис. 12). Процесс включает в себя пропускание водных отходов через одноразовый фильтрующий картридж для удаления взвешенных твердых частиц после регулировки в потоке pH, а затем через серию из трех ионообменных колонн для удаления основных радионуклидов [21–24]. Первые две ионообменные колонны наполнены полученной путем поликонденсации резорцинформальдегидной смолой (РФС), предназначенной для удаления ^{137}Cs , а третья — смолой на основе иминодиуксусной кислоты (ИДК), предназначенной для удаления ^{90}Sr . Эффлюент проходит через уловитель смолы, подвергается дозиметрическому контролю и отправляется на дальнейшую обработку, по мере необходимости, с последующим сбросом. После загрузки активность элюируется небольшим количеством разбавленной азотной кислоты, а смола регенерируется гидроксидом натрия для дальнейшего использования. Таким образом, одну и ту же порцию смолы можно использовать в нескольких циклах загрузки-элюирования-регенерации до того, как ее характеристики ухудшатся и потребуются ее замена на свежую. Элюированная активность сохраняется для дальнейшего кондиционирования или извлечения ^{137}Cs , если это необходимо. Система ионообменной обработки смонтирована на прицепе длиной 10 м и готова к подключению на площадке и эксплуатации. Рядом с мобильной системой на площадке должно быть установлено оборудование пульта управления и химической подготовки. Система оснащена системой радиационного мониторинга и аппаратурой дистанционного управления. Операции установки и извлечения ионообменных колонн осуществляются дистанционно.

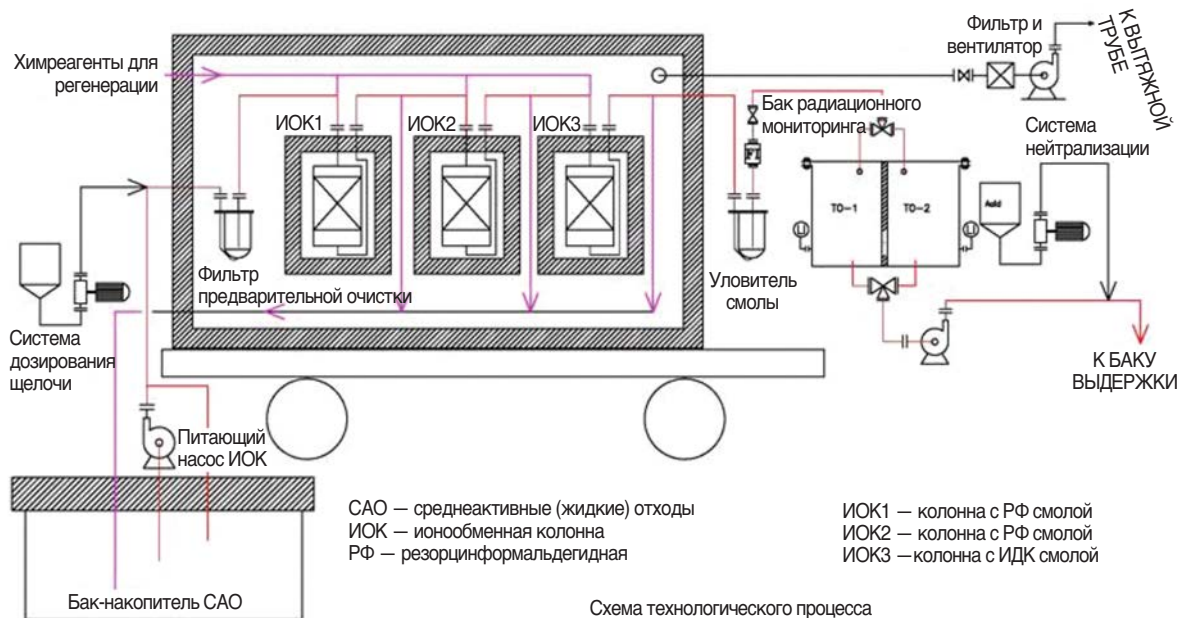


РИС. 12. Мобильная система фильтрации и ионообменной обработки (адаптировано с использованием изображения, предоставленного ЦАИБ).

4.2.3.2. Описание отдельных компонентов и элементов

- a) **Блок переработки с защитным экранированием:** смолами для удаления радионуклидов (ПРФС для ^{137}Cs и ИДК смолой для ^{90}Sr) заполняются 100-литровые колонны, предусматривающие удаленную замену среды. Они соединены последовательно с клапанами и трубопроводами, обеспечивающими изменение направления потока. Колонны снабжены локальным защитным экранированием, а все радиоактивные компоненты установлены в экранированном корпусе для защиты эксплуатационного персонала от излучения.
- b) **Органы управления:** управление системой осуществляется дистанционно из пультового помещения, организуемого на площадке рядом с мобильным прицепом. Для обеспечения безопасной эксплуатации предусмотрены автоматические защитные блокировки и оповещения высокого уровня. Контактные операции требуются только для технического обслуживания, по мере необходимости. Операции по надзору с проведением дозиметрического контроля и проверкой системы проводятся персоналом один раз в смену. Пульт управления дистанционным перемещением ионообменных колонн расположен на прицепе за пределами защитного экрана у окна станции радиационной защиты.
- c) **Механическое манипулирование:** механическое манипулирование используется при удалении или замене ионообменных колонн, фильтрующих картриджей и химреагентов. Для этой цели используются передвижной кран грузоподъемностью 5 т и вилочный погрузчик грузоподъемностью 2 т.
- d) **Прокладка маршрутов, мониторинг и обработка газообразных эфлюентов:** В экранированном корпусе поддерживается отрицательное давление с частотой воздухообмена до десяти раз в час, а перед сбросом воздух выпускается через фильтры предварительной очистки и фильтры НЕРА. Жидкие эфлюенты подвергаются мониторингу путем отбора проб и направляются для дальнейшей обработки (химического осаждения, если этого требуют характеристики отходов), разбавления и сброса.

4.2.3.3. Преимущества данной системы

- Простота установки, подключения и эксплуатации;
- отсутствие конкретных ограничений объема обрабатываемых отходов;
- высокие показатели в отношении коэффициентов дезактивации, уменьшения объема и сброса эфлюентов (конкретные радионуклиды удаляются рядом ионообменных колонн);
- низкие объемы вторичных отходов с простыми вариантами захоронения;
- вытяжная вентиляция зоны радиоактивной переработки производится через модуль фильтра НЕРА;
- низкая стоимость;
- малый объем технического обслуживания;
- низкий уровень облучения персонала;
- легкость дезактивации и удаления с площадки.

4.2.3.4. Ограничения данной системы

- Мобильная система рассчитана на смолы, селективно удаляющие определенные радионуклиды. В зависимости от входных характеристик отходов требуется перепроектировка системы.
- Мобильная система рассчитана на работу в диапазоне температур 10–40°C. Для эксплуатации и транспортировки в регионах с более низкой температурой необходима модификация системы.

- Экранирование ограничено грузоподъемностью прицепа и оптимизировано для типа отходов, которые будут подвергаться переработке. Во время циклов элюирования для контроля перемещения персонала в случае увеличения активности отходов требуется специальное разрешение на проведение работ.

4.2.3.5. Основные соображения при выборе

В таблице 9 приведены основные соображения при выборе системы фильтрации и ионного обмена.

ТАБЛИЦА 9. ОСНОВНЫЕ СООБРАЖЕНИЯ ПРИ ВЫБОРЕ СИСТЕМЫ ФИЛЬТРАЦИИ И ИОННОГО ОБМЕНА

| Рассматриваемый параметр | Описание |
|---|---|
| Характеристики поступающих и исходных отходов (объем, вид, активность, форма) | <ul style="list-style-type: none"> — Водные отходы, от малых до очень больших объемов; — для поступающих отходов необходимо выбрать тип смолы; — активность до 1,85 МБк/мл с высокой долей ^{137}Cs; — жидкие отходы, перекачиваемые насосами к мобильному блоку. |
| Характеристики вторичных отходов, образующихся в технологическом процессе (объем, вид, активность, форма) | <ul style="list-style-type: none"> — Ионообменные колонны, фильтрующие картриджи, растворы для очистки; — низкоактивные вторичные отходы, требующие дальнейшей химической обработки; — твердые отходы для захоронения в траншеях в пункте приповерхностного захоронения отходов; — эфлюенты подлежат мониторингу перед отправкой для дальнейшей обработки и сброса. |
| Характеристики окончательной формы отходов (тип контейнера, активность, форма) | <ul style="list-style-type: none"> — Концентрированные жидкие отходы, подлежащие хранению или дальнейшему кондиционированию; — удельная активность до 12 раз выше активности отходов на входе. |
| Нормативно-правовые соображения (национальные, местные, международные, связанные с лицензированием, эксплуатацией, перемещением и транспортировкой отходов) | <ul style="list-style-type: none"> — Вопросы, связанные с национальным регулированием; — лицензирование: средний уровень сложности. |
| Требования к транспортировке (эксплуатация системы, транспортировка отходов, подъездные дороги) | <ul style="list-style-type: none"> — Отсутствие необходимости перемещения отходов с площадки; — самоходный прицеп; — грузовой автомобиль для перевозки резервуаров и химреагентов пункта управления. |
| Режим использования: периодическая или непрерывная переработка (система, вторичные отходы) | <ul style="list-style-type: none"> — Непрерывная переработка до замены смолы; — вторичные жидкие отходы подлежат сбору в резервуары перед обработкой и сбросом. |

ТАБЛИЦА 9. ОСНОВНЫЕ СООБРАЖЕНИЯ ПРИ ВЫБОРЕ СИСТЕМЫ ФИЛЬТРАЦИИ И ИОННОГО ОБМЕНА (продолж.)

| Рассматриваемый параметр | Описание |
|--|--|
| Расходы: контрактные договоренности (аренда/закупки); периодическая (месяц/год/кампания/объем) установка; расходные материалы; персонал; удаление и утилизация оборудования; транспортировка; окончательная утилизация отходов | <ul style="list-style-type: none"> — низкая стоимость по сравнению с стационарной установкой; — периодические кампании; — арендуется или закупается; — простота установки; — ионообменные смолы и фильтрующие картриджи легко доступны; — требуется обученный и квалифицированный персонал; — специализированные навыки или знания, как правило, не требуются; — легкость очистки, демонтажа и удаления; — транспортируется на прицепах и грузовых автомобилях. |
| Конфигурация системы (мобильная или смонтированная на салазках) | <ul style="list-style-type: none"> — Здесь описывается конфигурация мобильной системы. — Возможна также конфигурация с монтажом на салазках. |
| Занимаемая площадь или физический размер мобильной системы (максимальные размеры, пространство для обращения с технологическими средами/замены/ремонта) | <ul style="list-style-type: none"> — Как правило, система, смонтированная на прицепе длиной 10 м, высотой 5 м. — Используемая система постоянно установлена на прицепе. — Может быть разработан вариант для монтажа на салазках. |
| Общая масса (для определения нагрузки на пол и перемещения) | <ul style="list-style-type: none"> — Масса системы зависит от уровней активности обрабатываемых отходов и экранирования, необходимого для безопасной эксплуатации. — Масса: ~30 т. |
| Кадровые ресурсы (численность, нанимаемый по контракту персонал, техническая квалификация, операции, физическая безопасность, техническое обслуживание) | <ul style="list-style-type: none"> — Простота в эксплуатации, требуется квалифицированный персонал; — три работника в смене; — персонал по эксплуатации и техническому обслуживанию и медицинский физик. |
| Максимальные или оптимальные значения пропускной способности, производительности, коэффициента дезактивации и уменьшения объема | <ul style="list-style-type: none"> — Оптимальная пропускная способность: 400–500 л/ч. — Коэффициенты дезактивации >10 000 для ¹³⁷Cs. — Коэффициенты сокращения объема: 10–12 (отношение объема переработанных исходных отходов и объема элюированного раствора). — Утилизация колонны со смолой обычно производится после 10–12 рабочих циклов. |
| Потребности в помещениях (зона хранения расходных материалов, складирования и хранения отходов) | Площадь ~25 м ² с высотой 5 м для пульта управления, химической подготовки и хранения расходных материалов. |
| Перечень расходных материалов, необходимых для технологического процесса (технологические среды, контейнеры, детали, химреагенты) | <ul style="list-style-type: none"> — Ионообменные смолы; — фильтрующие картриджи; — химреагенты для регулирования рН, элюирования и регенерации; — запасные части, такие как прокладки, уплотнительные кольца и гибкие шланги. |

ТАБЛИЦА 9. ОСНОВНЫЕ СООБРАЖЕНИЯ ПРИ ВЫБОРЕ СИСТЕМЫ ФИЛЬТРАЦИИ И ИОННОГО ОБМЕНА (продолж.)

| Рассматриваемый параметр | Описание |
|---|--|
| Общие требования к технологическому обеспечению (воздух, вода, пар, электроснабжение, вентиляция) | <ul style="list-style-type: none"> — Электроснабжение: 5 кВт для вентиляторов, освещения, управления и контроля безопасности. — Требования к вентиляции зависят от требований на принимающей площадке: температура системы и трубопроводов должна поддерживаться на уровне 25–30°C. — Сжатый воздух для работы насосов и клапанов: 300 м³/ч, давление 0,6 МПа. |
| Погрузочно-разгрузочное оборудование, необходимое для размещения, эксплуатации, а также манипулирования с отходами и их упаковки (краны, вилочные погрузчики, грузоподъемность) | Требуется местное погрузочно-разгрузочное оборудование: краны для демонтажа экранированных ионообменных колонн (5 т) и вилочные погрузчики для перемещения химвеществ. |
| Общие требования промышленной и радиационной безопасности (барьеры, защита органов дыхания, дозиметрический контроль персонала, меры контроля радиоактивного загрязнения, мониторинг воздуха) | <ul style="list-style-type: none"> — Барьеры при элюировании загруженных ионообменных колонн. — Дозиметрический контроль персонала: термоллюминесцентные дозиметры. — Может потребоваться периодический мониторинг состояния здоровья средствами медицинской физики. — Регистраторы гамма-излучения в помещении и приборы непрерывного мониторинга радиоактивности воздуха. — Меры контроля загрязнения в соответствии с требованиями принимающей площадки. |

4.2.4. Фильтрация, мембраны и ионный обмен

4.2.4.1. Описание типичной системы

Мобильная модульная система «Аква-Экспресс» разработана в МосНПО «Радон», Российская Федерация, для обработки жидких радиоактивных отходов низкого и среднего уровня активности (НСАО). Эта система предназначена для применения в небольших и средних исследовательских центрах и других организациях, где образуются относительно небольшие объемы сточных вод низкого и среднего уровня активности (до 500 м³/год) [25, 26]. Обработка осуществляется с помощью технологической цепочки, включающей в себя процессы фильтрации, сорбции и ультрафильтрации, и предназначена для сброса нерадиоактивных солей наряду с чистой водой. Система состоит из трех автономных модулей очистки сточных вод и системы отбора проб (см. рис. 13). Система может транспортироваться по автомобильным, железным дорогам или по воздуху, а также устанавливаться в стандартный транспортный контейнер ИСО.

4.2.4.2. Описание отдельных компонентов и элементов

На рис. 14 [26] показана используемая в настоящее время схема технологического процесса, включающая фильтр-контейнер, модуль фильтрации и модуль ультрафильтрации.

Технологическая схема системы может быть разделена на следующие элементы, которые соответствуют различным этапам очистки воды: фильтр-контейнер с ферроцианидным сорбентом, насыпные фильтры и ультрафильтрационный модуль. Как правило, установка будет также включать дополнительные модули очистки воды. Однако базовая система пригодна для очистки низкоуровневых радиоактивных и слабо засоленных жидких отходов (засоленность ниже 3 г/л). Принципы процесса очистки «Аква-Экспресс» описаны ниже.



РИС. 13. Установка «Аква-Экспресс» (с разрешения МосНПО «Радон»).

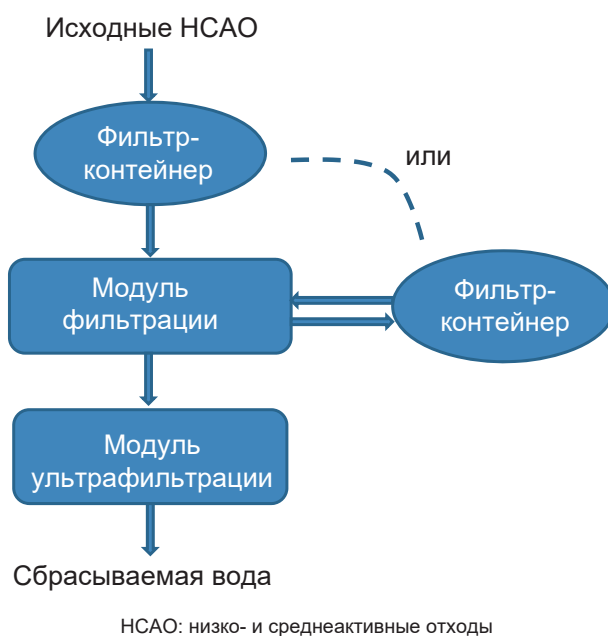


РИС. 14. Схема технологического процесса установки «Аква-Экспресс».

Исходные жидкие радиоактивные отходы из емкости-хранилища прокачиваются через фильтр-контейнер, в котором установлены фильтры с ферроцианидным сорбентом и насыпные фильтры. Ферроцианидный сорбент является синтетическим материалом (например, ферроцианид никеля или ферроцианид меди, осажденный на силикагеле) и он выборочно удаляет из жидких

отходов ионы цезия, в том числе ^{134}Cs и ^{137}Cs . Во многих потоках радиоактивных отходов изотопы цезия являются основными гамма-излучателями, поэтому их удаление из раствора на первом этапе очистки способствует снижению уровня излучения в зоне на перерабатывающей установке. На этом этапе значения коэффициента дезактивации изотопов цезия могут достигать 10 000.

Состав сорбентов, используемых в насыпных фильтрах, зависит от состава жидких радиоактивных отходов и определяется на основе предварительного химического и радиохимического анализа. Это самый важный этап удаления радионуклидов в процессе очистки. Поэтому выбор сорбента должен осуществляться экспертами в области очистки радиоактивной воды.

После обработки сорбентами с целью удаления радионуклидов жидкие отходы направляются в питающий бак модуля ультрафильтрации. Они циркулируют в системе, включающей «буферную емкость ультрафильтрационного модуля», с помощью насоса, создающего давление 0,2–0,3 МПа. Размер пор мембраны не превышает 50–100 нм. После этой стадии вода полностью очищена и не содержит взвешенных твердых веществ, коллоидов и полимерных молекул. Технология ультрафильтрации очищает воду, путем удаления радионуклидов, внедренных во взвешенные частицы субмикронных размеров, а также продуктов, образующихся в результате абразивного износа сорбентов. Последнее особенно важно при использовании природных сорбентов (например, клиноптилолита, хабазита и бентонита) и активированных углей. Коэффициенты дезактивации на последней стадии могут варьироваться от 1 до 10 в зависимости от соотношения суспензий субмикронного размера в потоке жидких отходов и степени их уноса через насыпные фильтры.

При обработке жидких радиоактивных отходов, содержащих высокие концентрации нефтепродуктов или взвешенных твердых частиц, рекомендуется использовать насыпной фильтр перед обработкой сорбентом и ультрафильтрацией. К подлежащим рассмотрению материалам относятся многослойный синтетический и гидрофобный материал, песок или щебень, активированный уголь или дробленый антрацит. В этом случае фильтр-контейнер соединяется с модулем фильтрации между первым и вторым фильтрами (см. рис. 14).

Во время работы фильтра-контейнера и насыпных фильтров рекомендуется периодически отводить газы, накапливающиеся в верхней части фильтров, и использовать обратный поток воды (обратную промывку) для ослабления нагрузки на фильтр.

4.2.4.3. Преимущества данной системы

- Простота установки, подключения и эксплуатации;
- отсутствие конкретных ограничений объема обрабатываемых отходов;
- высокие эксплуатационные характеристики в отношении коэффициентов дезактивации и сброса эфлюентов (конкретные радионуклиды разделяются путем применения ряда ионообменных колонн и ультрафильтрации);
- хорошее сокращение общего объема, включая вторичные радиоактивные отходы;
- низкая стоимость;
- малый объем технического обслуживания;
- низкие мощности индивидуальной дозы;
- легкость дезактивации и удаления с площадки.

4.2.4.4. Ограничения данной системы

- Мобильная модульная установка в настоящее время рассчитана на работу в диапазоне температур 10–40°C. Для транспортировки и эксплуатации в регионах с более низкой температурой необходима модификация системы.
- Система использует различные сорбенты для различных радионуклидов. В каждом отдельном случае необходимо выбирать специфические сорбенты.

- Система (за исключением фильтра-контейнера) не имеет биологической защиты. Поэтому можно перерабатывать только жидкие низкоактивные отходы. Если жидкость содержит только изотопы цезия, то после загрузки 7,4 ГБк цезия необходимо заменить фильтр-контейнер.
- Мобильная модульная установка не имеет системы кондиционирования вторичных радиоактивных отходов. Поэтому отработанные сорбенты и мембраны необходимо упаковывать и транспортировать на другие установки для кондиционирования.
- При использовании обратного осмоса (в том или ином случае) вместо ультрафильтрации действуют следующие системные ограничения: тщательная характеристика и контроль поступающих жидких сред; может потребоваться предварительная обработка поступающих жидких сред; сложная технология требует обучения операторов и знания процесса; требуется техническая экспертная поддержка в области химии и мембран обратного осмоса; устройство может быть большим по размеру; более высокая начальная стоимость, чем у большинства альтернативных вариантов переработки.

4.2.4.5. Основные соображения при выборе

В таблице 10 приведены основные соображения при выборе систем, использующих фильтрацию, мембраны и ионный обмен (Аква-Экспресс).

ТАБЛИЦА 10. ОСНОВНЫЕ СООБРАЖЕНИЯ ПРИ ВЫБОРЕ СИСТЕМ, ИСПОЛЬЗУЮЩИХ ФИЛЬТРАЦИЮ, МЕМБРАНЫ И ИОННЫЙ ОБМЕН В СИСТЕМАХ

| Рассматриваемый параметр | Описание |
|---|---|
| Характеристики поступающих и исходных отходов (объем, вид, активность, форма) | <ul style="list-style-type: none"> — До 500 м³/год, жидкие НСАО. — Общая гамма-активность: до 1 × 10⁶ Бк/л; основные загрязняющие вещества: ¹³⁴Cs и ¹³⁷Cs, ^{110m}Ag, ¹⁴⁰Ba, продукты коррозии. — Общая бета-активность: в основном ⁹⁰Sr (100–1000 Бк/л). — Общая альфа-активность: (100–300 Бк/л). — pH 1–10. — Умеренная соленость отходов (1–10 г/л), в особых случаях может быть немного выше. — При использовании обратного осмоса требуется относительно высокое качество поступающих отходов. |
| Характеристики вторичных отходов, образующихся в технологическом процессе (объем, вид, активность, форма) | <p>При обработке 500 м³ жидких отходов образуются следующие вторичные отходы:</p> <ul style="list-style-type: none"> — пять фильтров-контейнеров (0,2 м³): общая активность до 8 × 10⁸ Бк; — 15 стандартных металлических бочек с гранулированными сорбентами или песком (общий объем <0,6 м³): удельная активность до 3 × 10⁶ Бк/л; — один спиральный ультрафильтрующий элемент (0,1 м³): активность незначительна; — мембраны, если используется обратный осмос. |
| Характеристики окончательной формы отходов (тип контейнера, активность, форма) | <ul style="list-style-type: none"> — Фильтр-контейнер (цементированная стандартная металлическая бочка); — могут быть кондиционированы путем цементирования: до или после перевозки (общий объем <0,6 м³). |

ТАБЛИЦА 10. ОСНОВНЫЕ СООБРАЖЕНИЯ ПРИ ВЫБОРЕ СИСТЕМ, ИСПОЛЬЗУЮЩИХ ФИЛЬТРАЦИЮ, МЕМБРАНЫ И ИОННЫЙ ОБМЕН В СИСТЕМАХ (продолж.)

| Рассматриваемый параметр | Описание |
|--|---|
| Нормативно-правовые соображения (национальные, местные, международные, связанные с лицензированием, эксплуатацией, перемещением и транспортировкой отходов) | — Местные, региональные и национальные правила (Российская Федерация: Нормы радиационной безопасности НРБ-99). |
| Требования к транспортировке (эксплуатация системы, транспортировка отходов, подъездные дороги) | — Небольшие грузовые автомобили; — другие варианты: требуются транспортный контейнер или упаковочные ящики и подъемные механизмы. |
| Режим использования: периодическая или непрерывная переработка (система, вторичные отходы) | — Систему можно использовать для непрерывной переработки жидких отходов объемом до 100 м ³ . — Срок службы фильтрующих сред определяет продолжительность выполнения процесса. |
| Расходы: контрактные договоренности (аренда/закупки); периодическая (месяц/год/кампания/объем) установка; расходные материалы; персонал; удаление и утилизация оборудования; транспортировка; окончательная утилизация отходов | — Капитальные затраты на установку: ~80 000 долл. США; — удельные затраты на обработку 1 м ³ жидких радиоактивных отходов могут составлять до 500 долл. США (как правило, 100–200 долл. США); — стоимость окончательного захоронения отходов в разных государствах варьируется и может составлять >10 000 долл. США за 1 м ³ . — При использовании обратного осмоса стоимость системы увеличивается. |
| Конфигурация системы (мобильная или смонтированная на салазках) | — Обычно смонтированная на салазках; — мобильная конфигурация возможна путем установки на небольшой грузовой автомобиль. |
| Занимаемая площадь или физический размер мобильной системы (максимальные размеры, пространство для обращения с технологическими средами/замены/ремонта) | — <10 м ² для ультрафильтрации, обычно более чем в два раза больше, чем в случае обратного осмоса. |
| Общая масса (для определения нагрузки на пол и перемещения) | — <1500 кг в случае ультрафильтрации. |
| Кадровые ресурсы (численность, нанимаемый по контракту персонал, техническая квалификация, операции, физическая безопасность, техническое обслуживание) | — Эксплуатация: от одного до двух работников (по крайней мере один специалист-химик). — Для технического обслуживания: два технических специалиста (механик и электрик). |

ТАБЛИЦА 10. ОСНОВНЫЕ СООБРАЖЕНИЯ ПРИ ВЫБОРЕ СИСТЕМ, ИСПОЛЬЗУЮЩИХ ФИЛЬТРАЦИЮ, МЕМБРАНЫ И ИОННЫЙ ОБМЕН В СИСТЕМАХ (продолж.)

| Рассматриваемый параметр | Описание |
|---|---|
| Максимальная или оптимальная пропускная способность и производительность, а также уменьшение объема | <ul style="list-style-type: none"> — 0,5 м³/ч (оптимально 0,3 м³/ч); — уменьшение объема: не менее, чем в 100 раз. <p>Для обратного осмоса:</p> <ul style="list-style-type: none"> — производительность зависит от применения, может составлять от 1 л/мин до >200 л/мин; — ограничивается количеством стадий, рабочим давлением, характеристиками входного потока и целевыми параметрами эфлюентов; — обычны типичные значения коэффициента дезактивации 1000–10 000. |
| Потребности в помещениях (зона хранения расходных материалов, складирования и хранения отходов) | <20 м ² . |
| Перечень расходных материалов, необходимых для технологического процесса (технологические среды, контейнеры, детали, химреагенты) | <p>На 500 м³ жидких отходов:</p> <ul style="list-style-type: none"> — 16 стандартных металлических бочек; — пять фильтров-контейнеров; — 10 кг ЭДТА или эквивалент (щавелевая кислота); — 50 кг NaOH; — 40 л, 12N HNO₃; — 10 кг лимонной кислоты. |
| Общие требования к технологическому обеспечению (воздух, вода, пар, электроснабжение, вентиляция) | <ul style="list-style-type: none"> — Электроснабжение: 220 В перем. тока, 50 Гц, 3 кВт. — Вода; <0,2 м³ на 500 м³ очищенных жидких радиоактивных отходов. <p>Для обратного осмоса:</p> <ul style="list-style-type: none"> — Электроснабжение: 220 В, трехфазное, 50 А, 60 Гц. — Вода: деминерализованная, 110 л/ч, два трубопровода, 1,0 и 0,5 МПа. — Воздух: 300 м³/ч, давление 0,4 МПа. — ОВКВ: вентиляционные патрубки должны быть соединены с системой ОВКВ на предприятии. |
| Погрузочно-разгрузочное оборудование, необходимое для размещения, эксплуатации, а также манипулирования с отходами и их упаковки (краны, вилочные погрузчики, грузоподъемность) | <ul style="list-style-type: none"> — Вилочный погрузчик или кран, если система транспортируется в контейнере или в коробках (вес каждого модуля <800 кг). — При эксплуатации: фильтры-контейнеры и одноразовые бочки с сорбентом (масса <400 кг). — Система обратного осмоса: требуется кран грузоподъемностью <25 т. |
| Общие требования промышленной и радиационной безопасности (барьеры, защита органов дыхания, дозиметрический контроль персонала, меры контроля радиоактивного загрязнения, мониторинг воздуха) | <ul style="list-style-type: none"> — Особые требования безопасности отсутствуют; — радиационный мониторинг в некоторых местах вокруг установки; — средства контроля радиоактивного загрязнения и радиационного контроля в соответствии с требованиями принимающей площадки. |

Примечание: НСАО — отходы низкого и среднего уровня активности; ЭДТА — этилендиаминовая тетрауксусная кислота; ОВКВ — отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха.

4.2.5. Селективный ионный обмен в системе удаления нуклидов

4.2.5.1. Описание типичной системы

Мобильная система удаления нуклидов (NURES) создана и эксплуатируется компанией «Фортум нуклеар сервисиз», Финляндия. Она может быть адаптирована под различные требования в качестве как стационарной, так и мобильной системы. Благодаря своей гибкости мобильные блоки могут быть различными от случая к случаю (см. рис. 15).

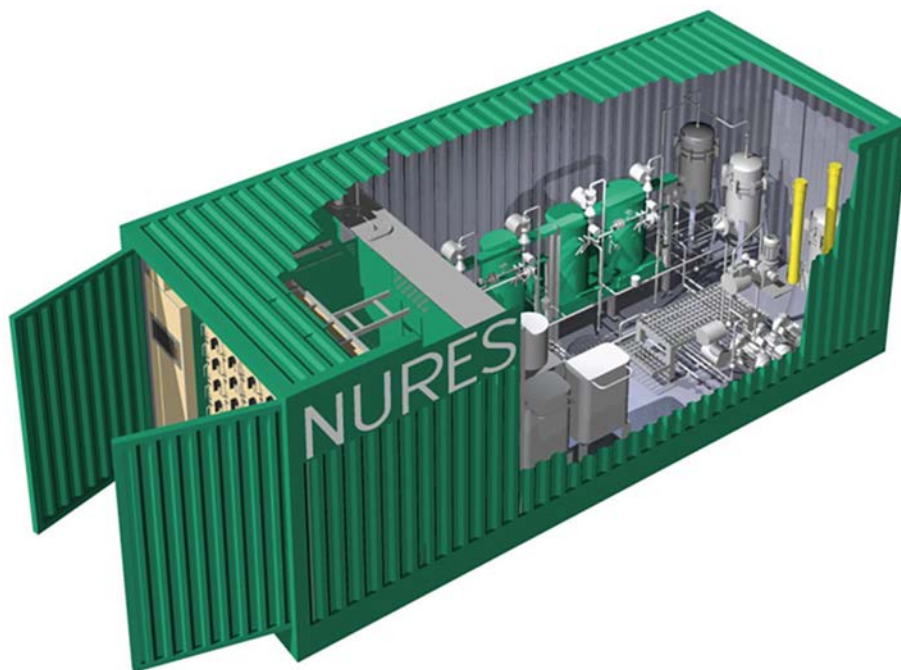


Рис. 15. Типичная компоновка мобильной системы NURES в стандартном 6-метровом контейнере (с разрешения компании «Фортум нуклеар сервисиз»).

Систему NURES можно использовать для обработки различных жидкостей, в том числе жидкостей с высокими концентрациями соли. Эта система использовалась для жидкостей с общей концентрацией солей до 300 г/л и была испытана с концентрацией до 400 г/л. Первым этапом в этом процессе является эффективный фильтрационный блок, который удаляет взвешенные радиоактивные частицы. На следующем этапе целевые радионуклиды удаляются как ионная радиоактивность с помощью высокоселективных ионообменных материалов.

Было использовано три высокоселективных неорганических ионообменных материала [27]. Материал CsTreat был разработан с целью обеспечения максимально возможной избирательности к цезию, $k_{Cs/Na} = 1\,500\,000$ и $k_{Cs/K} = 50\,000$, и очень хорошей обменной емкости, 0,35 мг-экв/г. На рис. 16 приведено сравнение значений K_d для CsTreat и других типичных сред.

В мобильной системе CsTreat, как правило, используется в виде гранул в колоннах. В стационарных системах используются колонны емкостью от 1 л до 250 л, а в мобильных системах — емкостью 12 л. SrTreat был разработан для удаления стронция, а CoTreat — для удаления кобальта и других продуктов коррозии. Высокоселективный SrTreat был разработан для удаления стронция из щелочных растворов. Он обладает высоким коэффициентом селективности к натрию ($k_{Sr/Na} = 200\,000$), но чувствителен к кальцию и pH.

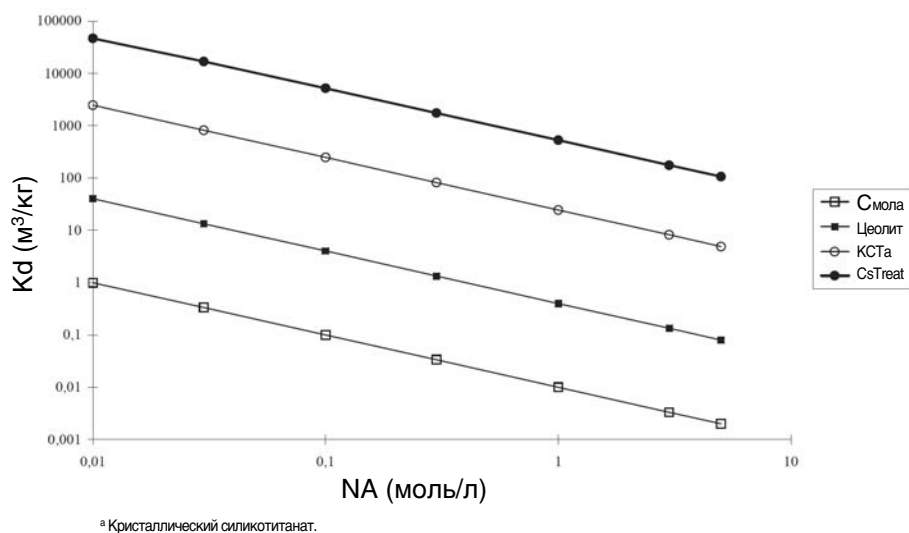


РИС. 16. Сравнение значений K_d для CsTreat (график из [27]).

SrTreat успешно использовался для обработки жидкостей, образующихся при переработке, и жидкостей с атомных ледоколов и был протестирован на жидких отходах на нефтехранилищах Министерства энергетики США на площадках в Хэнфорде и Саванна Ривер.

Удаление кобальта всегда было одной из наиболее важных задач на атомной электростанции. В ответ на это была разработана 100% неорганическая среда CoTreat. В лабораторных испытаниях среда CoTreat обеспечила эффективное удаление кобальта и других продуктов коррозии из воды после очистки пола на атомной электростанции, обеспечив коэффициенты дезактивации до 1000 и производительность при переработке свыше 50 м³/кг, включая воды с высокой проводимостью. Первоначально среда CoTreat была разработана для удаления ионного кобальта. Вместе с тем было отмечено, что одновременно могут удаляться и другие продукты коррозии.

Новый материал для удаления сурьмы в настоящее время находится на демонстрационном этапе. Сурьма является причиной примерно половины случаев облучения во время остановов на атомной электростанции «Ловийса» в Финляндии. Ранние результаты испытаний показывают, что эта среда может снижать уровни сурьмы и доз облучения.

4.2.5.2. Описание отдельных компонентов и элементов

Фаза фильтрации включает как минимум две фазы механической фильтрации частиц. Перед фильтрацией может быть полезно использовать активированный уголь для удаления органических соединений (главным образом масел). Размер пор фильтра можно выбрать исходя из характеристик входящего потока, но обычно используются фильтры с порами 1 мкм и 0,45 мкм. Использование фильтра второй ступени с порами 0,1 мкм обеспечит еще более высокую очистку.

В мобильной системе селективный ионообменный материал используется в виде частиц. Объем колонны обычно составляет 12 л, но можно установить параллельно несколько колонн, с тем чтобы увеличить производительность системы.

4.2.5.3. Преимущества данной системы

- Система NURES имеет гибкую конфигурацию и может быть адаптирована для различных применений.

- Эта система может быть полностью автоматической и независимой на площадке, где не установлена система обработки, или может быть встроена в качестве модуля в более крупную установку для обработки.
- Установка и эксплуатация очень просты.
- Система может быть небольшой благодаря высокой избирательности ионообменного материала.
- Очень высокие значения коэффициента дезактивации позволяют получать на выходе очищенную жидкость.
- Высокая избирательность и производительность в отношении целевых нуклидов обеспечивают высокие значения коэффициента уменьшения объема.
- Систему очень легко обслуживать.
- Легко проводить ее дезактивацию и вывод из эксплуатации.

4.2.5.4. Ограничения данной системы

- Неорганические материалы в форме гранул допускают лишь умеренные значения расхода. Как правило, одна 12-литровая колонна обеспечивает пропускную способность переработки от 120 до 240 л/ч. Параллельное использование колонн или использование порошкообразных материалов в картриджах может увеличить производительность.
- Поступающая жидкость может содержать радионуклиды, ограничивающие сброс жидкости после удаления цезия, стронция, кобальта или других продуктов коррозии. В этих случаях в систему необходимо добавить другие фазы, или жидкость должна быть подвергнута переработке вместо сброса.

4.2.5.5. Основные соображения при выборе

В таблице 11 приведены основные соображения при выборе селективного ионного обмена в NURES.

ТАБЛИЦА 11. ОСНОВНЫЕ СООБРАЖЕНИЯ ПРИ ВЫБОРЕ СЕЛЕКТИВНОГО ИОННОГО ОБМЕНА В NURES

| Рассматриваемый параметр | Описание |
|---|--|
| Характеристики поступающих и исходных отходов (объем, вид, активность, форма) | <ul style="list-style-type: none"> — Жидкие отходы низкого и среднего уровня активности с концентрациями соли до 400 г/л; — pH при удалении Cs 1–13 для жидкостей с высокой соленостью и 2–12 для жидкостей с низкой соленостью; для Sr pH>9 (в некоторых случаях >7); для Co и продуктов коррозии pH 6–8. |
| Характеристики вторичных отходов, образующихся в технологическом процессе (объем, вид, активность, форма) | <ul style="list-style-type: none"> — Фильтрующие и ионообменные среды; — объем зависит от характеристик поступающей жидкости. |
| Характеристики окончательной формы отходов (тип контейнера, активность, форма) | <ul style="list-style-type: none"> — Удельная активность может быть в тысячи раз выше, чем в поступающей жидкости. — Ионообменные колонны: 100% неорганические. — Ионообменный материал обычно гранулированный, размер гранул 0,30–0,85 мм (возможны другие размеры). — Обезвоженные колонны могут быть захоронены в бетонных контейнерах, или же можно извлечь из колонн фильтрующие среды и кондиционировать их для захоронения. |

ТАБЛИЦА 11. ОСНОВНЫЕ СООБРАЖЕНИЯ ПРИ ВЫБОРЕ СЕЛЕКТИВНОГО ИОННОГО ОБМЕНА В NURES (продолж.)

| Рассматриваемый параметр | Описание |
|--|--|
| Нормативно-правовые соображения (национальные, местные, международные, связанные с лицензированием, эксплуатацией, перемещением и транспортировкой отходов) | <ul style="list-style-type: none"> — Могут применяться местные, региональные или национальные требования. — Особых сложностей с лицензированием нет. |
| Требования к транспортировке (эксплуатация системы, транспортировка отходов, подъездные дороги) | <ul style="list-style-type: none"> — Мобильную систему можно легко транспортировать на грузовом автомобиле. — Во время эксплуатации отработанные материалы транспортируются с использованием вилочного погрузчика, ручной тележки или подъемника. |
| Режим использования: периодическая или непрерывная переработка (система, вторичные отходы) | <ul style="list-style-type: none"> — Периодическая или непрерывная; — мобильная система NURES может включать полностью автоматическую систему управления, которая поддерживает постоянную работу с автоматическим отключением в случае прорыва активности, избыточного давления или отказа. |
| Расходы: контрактные договоренности (аренда/закупка); периодическая (месяц/год/кампания/объем) установка; расходные материалы; персонал; удаление и утилизация оборудования; транспортировка; окончательная утилизация отходов | <ul style="list-style-type: none"> — Низкая стоимость по сравнению со стационарной системой или альтернативными решениями, такими как отверждение жидких отходов; — эксплуатация обычно проводится в режиме периодических кампаний; — систему можно арендовать или приобрести, колонны и картриджи доступны с разумным временем доставки; — предоставляется обучение эксплуатационного персонала; — систему можно транспортировать на обычных грузовых автомобилях; — система легко устанавливается, очищается и удаляется; — колонны и картриджи утилизируются в контейнерах, предоставляемых принимающей площадкой. |
| Конфигурация системы (мобильная или смонтированная на салазках) | Мобильная или смонтированная на салазках. |
| Занимаемая площадь или физический размер мобильной системы (максимальные размеры, пространство для обращения с технологическими средами/замены/ремонта) | Обычно 15 м ² , но зависит от требований в каждом случае. |
| Общая масса (для определения нагрузки на пол и перемещения) | Как правило, 20–30 т: экранирование увеличивает массу. |
| Кадровые ресурсы (численность, нанимаемый по контракту персонал, техническая квалификация, операции, физическая безопасность, техническое обслуживание) | <ul style="list-style-type: none"> — Требуется оператор: частота выполняемых операций контроля в зависимости от требований на принимающей площадке. — Колонны и картриджи заменяются по мере необходимости, требуется один квалифицированный оператор и еще один сотрудник для замены колонн и картриджей. |

ТАБЛИЦА 11. ОСНОВНЫЕ СООБРАЖЕНИЯ ПРИ ВЫБОРЕ СЕЛЕКТИВНОГО ИОННОГО ОБМЕНА В NURES (продолж.)

| Рассматриваемый параметр | Описание |
|---|---|
| Максимальные или оптимальные значения пропускной способности, производительности, коэффициента дезактивации и уменьшения объема | <ul style="list-style-type: none"> — Расход: 10–20 объемов фильтрующего слоя в час. — Типичные значения коэффициента дезактивации $\gg 1000$ для Cs и Sr, 10–1000 для Co и продуктов коррозии. — Производительность: тысячи м³ на 1 кг ионообменного материала. — Коэффициент уменьшения объема: отношение объемов образующейся жидкости и ионообменного материала может достигать десятков тысяч; >1000 по отношению к окончательной подлежащей захоронению форме. |
| Потребности в помещениях (зона хранения расходных материалов, складирования и хранения отходов) | Площадь складского помещения, необходимого для размещения контейнеров с конечными отходами и для выполнения с ними операций по манипулированию, обычно составляет 10–15 м ² . |
| Перечень расходных материалов, необходимых для технологического процесса (технологические среды, контейнеры, детали, химреагенты) | <ul style="list-style-type: none"> — Ионообменные колонны для удаления ионных форм радионуклидов. — Фильтрующие среды на основе спецификаций поступающего потока отходов. — Как правило, в бетонный контейнер объемом 1 м³ помещается 7–12 отработанных колонн. — Один контейнер требуется для сбора колонн и углерода и один для отработанных картриджей. — Тип в зависимости от требований на принимающей площадке. |
| Общие требования к технологическому обеспечению (воздух, вода, пар, электроснабжение, вентиляция) | <ul style="list-style-type: none"> — Электроснабжение; — подключения для перекачивания входных жидких отходов и эффлюентов; — утилизация проб отходов. |
| Погрузочно-разгрузочное оборудование, необходимое для размещения, эксплуатации, а также манипулирования с отходами и их упаковки (краны, вилочные погрузчики, грузоподъемность) | <ul style="list-style-type: none"> — Для извлечения отработанных фильтрующих картриджей и ионообменных колонн требуется выполнение механических операций манипулирования. — Для колонн может потребоваться экранированный транспортный контейнер. — Для транспортировки отработанного материала требуется вилочный погрузчик, ручная тележка или простой подъемник. |
| Общие требования промышленной и радиационной безопасности (барьеры, защита органов дыхания, дозиметрический контроль персонала, меры контроля радиоактивного загрязнения, мониторинг воздуха) | <ul style="list-style-type: none"> — Защитная одежда для персонала; — радиологические барьеры и бермы/обваловки с учетом требований на принимающей площадке. |

Примечание: NURES — система удаления нуклидов.

4.2.6. Обезвоживание отработанных ионообменных и фильтрационных сред

4.2.6.1. Описание типичной системы

Самоподключающаяся система обезвоживания (СПСО) предназначена для перекачивания шлама отработанной смолы и других отходов фильтрующих сред аналогичной консистенции в контейнеры для отходов и удаления шламовой воды после перемещения отработанных сред. Она обычно используется для потоков отходов, создающих поля с высоким уровнем излучения и поэтому должна эксплуатироваться в режиме дистанционного управления. Контейнеры для отходов, также известные как высокопрочные контейнеры (ВПК), имеют встроенные фильтры для отделения твердых материалов от воды. После правильного размещения компонентов СПСО и контейнера для обезвоживания узел наполняющей головки подключается к впускному шлангу отходов и выпускному шлангу отходов для возврата шламовой воды на установку. После снятия крышки контейнера для обезвоживания узел наполняющей головки располагается над отверстием контейнера. Узел наполняющей головки практически полностью самосовмещается с отверстием контейнера, требуя лишь минимальной ручной регулировки оператором.

После установки наполняющая головка герметически закрепляется на контейнере, причем все электрические и связанные с обезвоживанием соединения с контейнером выполняются одним движением. Затем отработанная смола или другая среда, которая находится в жидком шламе, перекачивается через узел наполнительной головки в ВПК. Во время перекачивания шлама отработанной среды подается питание на насос для обезвоживания, который возвращает отфильтрованную воду обратно в систему удаления отходов установки. В предварительно заданной точке система определения уровня закрывает клапан на линии подачи отходов, предотвращая переполнение контейнера. Насос системы обезвоживания продолжит работать, снижая уровень шламовой воды в контейнере. Этот цикл повторяется до тех пор, пока не будет достигнут надлежащий объем отходов в контейнере и шламовая вода не будет удалена в соответствии с действующими на площадке критериями перевозки и захоронения. На рис. 17 показан типичный блок, установленный на ВПК.



РИС. 17. СПСО (с разрешения компании «Энерджи солюшенз»).

4.2.6.2. Описание отдельных компонентов и элементов

Шламовая вода действует в качестве среды-носителя при перемещении как смолы, так и фильтрационной среды в контейнеры для обезвоживания. Удаление шламовой воды из смолы и фильтрующей среды в контейнерах уменьшает объем отходов, а также обеспечивает соответствие действующим на площадке критериям перевозки и захоронения. Основные компоненты СПСО включают блок насоса для обезвоживания, узел наполнительной головки, панель управления, клапан управления отходами и контейнер для обезвоживания (см. рис. 18).



РИС. 18. Основные компоненты СПСО (слева направо: панель управления, тележка насосной станции и узел наполнительной головки; с разрешения компании «Энерджи соллюшенз»).

4.2.6.3. Преимущества данной системы

- Простая система установки и демонтажа;
- увеличенный объем отходов в контейнере;
- улучшенная система определения уровня;
- улучшенный узел камеры и освещения;
- механический указатель уровня;
- инфракрасное измерение температуры.

4.2.6.4. Ограничения данной системы

- Физическая конструкция и размеры системы обезвоживания должны быть совместимы с контейнером для обезвоживания;
- обычно не применяется для мелкодисперсных шламов (например, ила).

4.2.6.5. Основные соображения при выборе

В таблице 12 приведены основные соображения при выборе систем обезвоживания.

ТАБЛИЦА 12. ОСНОВНЫЕ СООБРАЖЕНИЯ ПРИ ВЫБОРЕ СИСТЕМ ОБЕЗВОЖИВАНИЯ ОТРАБОТАННЫХ ИОНООБМЕННЫХ И ФИЛЬТРАЦИОННЫХ СРЕД

| Рассматриваемый параметр | Описание |
|--|--|
| Характеристики поступающих и исходных отходов (объем, вид, активность, форма) | Объем зависит от контейнера для отходов, количеств шламовой воды и смол или активированного угля, активность зависит от критериев и ограничений захоронения. |
| Характеристики вторичных отходов, образующихся в технологическом процессе (объем, вид, активность, форма) | Нет. |
| Характеристики окончательной формы отходов (тип контейнера, активность, форма) | Обезвоженная смола, пригодная для окончательной упаковки и лицензированного захоронения радиоактивных отходов. |
| Нормативно-правовые соображения (национальные, местные, международные, связанные с лицензированием, эксплуатацией, перемещением и транспортировкой отходов) | Для развертывания системы не требуется сложного нормативного или юридического процесса. |
| Требования к транспортировке (эксплуатация системы, транспортировка отходов, подъездные дороги) | Небольшие ящики или контейнеры ИСО. |
| Режим использования: периодическая или непрерывная переработка (система, вторичные отходы) | Партии отходов помещаются в контейнеры для обезвоживания. Если после обезвоживания в контейнерах остается свободное пространство, можно еще добавить в них отходы. |
| Расходы: контрактные договоренности (аренда/закупки); периодическая (месяц/год/кампания/объем) установка; расходные материалы; персонал; удаление и утилизация оборудования; транспортировка; окончательная утилизация отходов | Оборудование может быть приобретено или арендовано как услуга. Активация, установка и обучение, как правило, являются единовременными затратами. |
| Конфигурация системы (мобильная или смонтированная на салазках) | <ul style="list-style-type: none"> — Наполнительная головка и подставка являются мобильными; — индивидуальный монтаж на салазках блока насоса для обезвоживания, панели управления, системы технологического воздуха/воды; — клапан управления подачей отходов монтируется на компонентах системы или на линии перекачки отходов предприятия. |
| Занимаемая площадь или физический размер мобильной системы (максимальные размеры, пространство для обращения с технологическими средами/замены/ремонта) | <ul style="list-style-type: none"> — Наполнительная головка и подставка диаметром ~1 м, массой ~270 кг, включая наполнительную головку; — салазки насоса для обезвоживания — около 0,6 м × 1 м, в зависимости от требований предприятия; — панель управления и система технологического воздуха/воды (могут быть выполнены по заказу и разделены) ~0,6 м × 1,5 м. |

ТАБЛИЦА 12. ОСНОВНЫЕ СООБРАЖЕНИЯ ПРИ ВЫБОРЕ СИСТЕМ ОБЕЗВОЖИВАНИЯ ОТРАБОТАННЫХ ИОНООБМЕННЫХ И ФИЛЬТРАЦИОННЫХ СРЕД (продолж.)

| Рассматриваемый параметр | Описание |
|---|--|
| Общая масса (для определения нагрузки на пол и перемещения) | Наполнительная головка и подставка — 270 кг, насосная платформа — 120 кг, панель управления с системой технологического воздуха/воды — 145 кг, шланги и кабели — 130 кг (варьируется). |
| Кадровые ресурсы (численность, нанимаемый по контракту персонал, техническая квалификация, операции, физическая безопасность, техническое обслуживание) | Требуется от одного до двух обученных операторов. |
| Максимальные или оптимальные значения пропускной способности, производительности, коэффициента дезактивации и уменьшения объема | Не применимо. |
| Потребности в помещениях (зона хранения расходных материалов, складирования и хранения отходов) | Минимальны. |
| Перечень расходных материалов, необходимых для технологического процесса (технологические среды, контейнеры, детали, химреагенты) | Среды для переработки жидких отходов, контейнер для отходов и внутренние компоненты, совместимые с СПСО заполняющие пластины. |
| Общие требования к технологическому обеспечению (воздух, вода, пар, электроснабжение, вентиляция) | <ul style="list-style-type: none"> — Воздух: 34 м³/ч, давление 0,62 МПа. — Вода; 75 л/мин, давление 0,55 МПа. — Электроснабжение: 110 В перем. тока, 20 А. — Проектное давление: 1,0 МПа. — Вентиляционный патрубок: возможно подключение к системе удаления отходящих газов предприятия или переносного НЕРА-фильтра. |
| Погрузочно-разгрузочное оборудование, необходимое для размещения, эксплуатации, а также манипулирования с отходами и их упаковки (краны, вилочные погрузчики, грузоподъемность) | В комплект наполнительной головки входит подъемный строп для ее размещения над контейнером для отходов. Для первоначальной установки требуется вилочный погрузчик или кран для перемещения салазок. |
| Общие требования промышленной и радиационной безопасности (барьеры, защита органов дыхания, дозиметрический контроль персонала, меры контроля радиоактивного загрязнения, мониторинг воздуха) | Оборудование управляется дистанционно и не требует специального оборудования для обеспечения радиационной безопасности. |

Примечание: СПСО — самоподключающаяся система обезвоживания; НЕРА — высокоэффективный сухой воздушный фильтр.

4.2.7. Сушка жидких и влажных твердых отходов в бочках

4.2.7.1. Описание типичной системы

Термическая сушка в бочках используется для сушки загрязненных влажных твердых веществ (например, шлаков, смол и фильтрующих элементов), жидких концентратов и растворов для дезактивации до получения твердого осадка. На рис. 19 показана типичная система, предлагаемая одним из поставщиков.



Рис. 19. Устройство для сушки в бочках (с разрешения компании «Дайверсифайд текнолоджиз сервисиз»).

На рис. 20 представлена схема технологического процесса. Отходы, высушенные в 200-литровых бочках модели DOT 17С Министерства транспорта США, можно безопасно хранить, подвергать операциям манипулирования и транспортировать. Система обеспечивает обработку загрязненных жидкостей непосредственно из сборных резервуаров или бочек. Конденсированный дистиллят подвергается отбору проб и сбрасывается или возвращается для переработки как радиоактивные отходы, если это необходимо. Наполнительная головка для бочек устанавливается сверху на бочку емкостью 200 л. Для обеспечения автоматического заполнения датчик уровня контролирует уровень жидкости в бочке. Термопара измеряет температуру пара и воздуха, выходящего из бочки, а клапан вакуумного выключателя управляет вакуумом в бочке. Для применения в условиях высоких доз имеется опциональная бочка с фиксированной головкой. Источником тепловой энергии является электрический нагреватель. Два шарнирных полукорпуса двухстворчатого нагревателя охватывают бочку, передавая тепло для испарения. Двухстворчатый нагреватель обеспечивает любую температур нагрева от 120°C до 230°C. По мере того как температура содержимого бочки поднимается выше 70°C — точки кипения воды при вакууме 0,5 м.в.ст. — жидкости начинают кипеть, выделяя пар. После того как бочка заполнена сухими твердыми веществами, она нагревается до целевой рабочей температуры, чтобы внутри не осталось жидкостей.

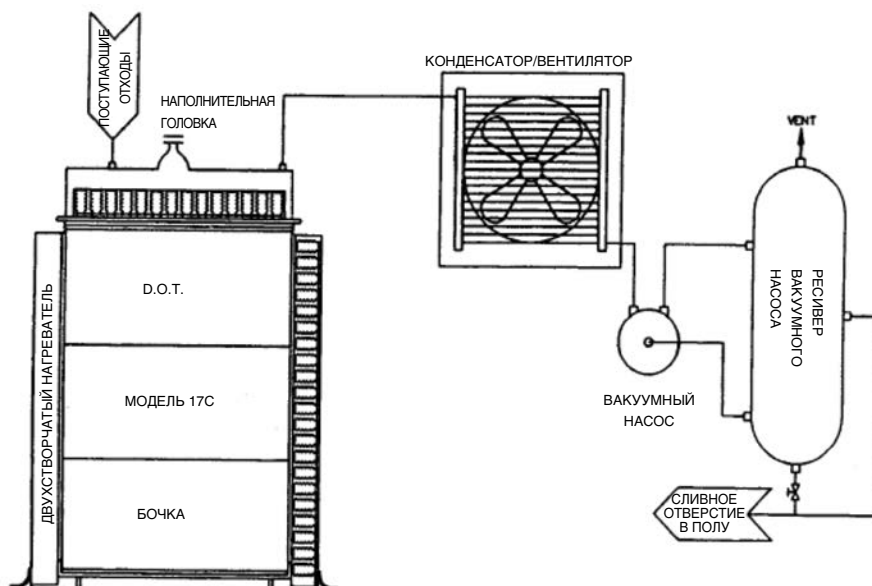


РИС. 20. Схема установки для сушки в бочках (с разрешения компании «Дайверсифайд технолоджиз сервисиз»).

4.2.7.2. Описание отдельных компонентов и элементов

Система состоит из двух основных компонентов — блока управления и модулей для бочек:

- Эти компоненты могут быть установлены на салазках или смонтированы стационарно.
- Модули для бочек можно размещать в экранированной зоне на удалении от панели управления.

4.2.7.3. Преимущества данной системы

- Легкость установки и обслуживания;
- автоматизированные органы управления;
- минимальный контроль со стороны оператора;
- гибкость производительности;
- производительность системы можно ступенчато увеличивать в диапазоне 7,5–11,5 л/ч путем подключения к платформе управления дополнительных модулей;
- сокращение объема отходов на 85–95%;
- 100%-ный захват активности жидкостей.

4.2.7.4. Ограничения данной системы

- Фактическая скорость переработки зависит от количества используемых модулей и уровня уже высохших твердых веществ в бочке.

4.2.7.5. Основные соображения при выборе

В таблице 13 приведены основные соображения при выборе систем сушки в бочках.

ТАБЛИЦА 13. ОСНОВНЫЕ СООБРАЖЕНИЯ ПРИ ВЫБОРЕ СИСТЕМ СУШКИ ЖИДКИХ И ВЛАЖНЫХ ТВЕРДЫХ ОТХОДОВ В БОЧКАХ

| Рассматриваемый параметр | Описание |
|--|--|
| Характеристики поступающих и исходных отходов (объем, вид, активность, форма) | Шлам, смолы, фильтрующие элементы, жидкие концентраты и растворы для дезактивации. |
| Характеристики вторичных отходов, образующихся в технологическом процессе (объем, вид, активность, форма) | 100% удаление воды. |
| Характеристики окончательной формы отходов (тип контейнера, активность, форма) | Твердый осадок. |
| Нормативные и правовые соображения (национальное, местное, лицензирование, эксплуатация, перемещение и транспортировка отходов) | <ul style="list-style-type: none"> — Необходимость контроля концентрации активности в соответствии с целями классификации отходов; — соответствие получаемой формы отходов предъявляемым требованиям; — экранирование для обеспечения радиационной защиты; — улавливание и контроль аэрозольных эфлюентов. |
| Требования к транспортировке (эксплуатация системы, транспортировка отходов, подъездные дороги) | <ul style="list-style-type: none"> — Перемещение бочек с необработанными отходами к блоку; — перемещение окончательной формы отходов из блока: для концентрированных твердых веществ может потребоваться подъемник, транспортер бочек или вилочный погрузчик. |
| Режим использования: периодическая или непрерывная переработка (система, вторичные отходы) | Частота эксплуатации зависит от источника отходов. Блок может эксплуатироваться непрерывно или периодически в рамках кампаний. |
| Расходы: контрактные договоренности (аренда/закупки); периодическая (месяц/год/кампания/объем) установка; расходные материалы; персонал; удаление и утилизация оборудования; транспортировка; окончательная утилизация отходов | <ul style="list-style-type: none"> — Низкая стоимость по сравнению со стационарной системой или альтернативными решениями, такими как отверждение жидких отходов; — систему можно арендовать или приобрести; — обеспечивается либо обучение эксплуатационного персонала, либо эксплуатация под управлением технических специалистов поставщика; — систему можно транспортировать на обычных грузовых автомобилях; — система легко устанавливается и удаляется; — компоненты системы, подверженные воздействию радиоактивных загрязнителей, не могут быть легко дезактивированы для сброса без ограничений. |
| Конфигурация системы (мобильная или смонтированная на салазках) | Может быть мобильной или смонтированной на салазках. |
| Занимаемая площадь или физический размер мобильной системы (максимальные размеры, пространство для обращения с технологическими средами/замены/ремонта) | ~3 м × 3 м (система с двумя бочками). |

ТАБЛИЦА 13. ОСНОВНЫЕ СООБРАЖЕНИЯ ПРИ ВЫБОРЕ СИСТЕМ СУШКИ ЖИДКИХ И ВЛАЖНЫХ ТВЕРДЫХ ОТХОДОВ В БОЧКАХ (продолж.)

| Рассматриваемый параметр | Описание |
|---|--|
| Общая масса (для определения нагрузки на пол и перемещения) | ~635 кг, без бочек для отходов. |
| Кадровые ресурсы (численность, нанимаемый по контракту персонал, техническая квалификация, операции, физическая безопасность, техническое обслуживание) | <ul style="list-style-type: none"> — один оператор для запуска и остановки системы (может быть нанят по контракту или предоставлен предприятием); — минимальные требования к квалификации (при использовании простейших базовых функций эксплуатации оборудования); — рабочая сила для перемещения бочек с необработанными и переработанными отходами; — сроки выполнения работ зависят от режима эксплуатации (периодический, непрерывный, частота, объем); — техническое обслуживание обычно выполняется поставщиком; — требования к испытаниям отсутствуют; — в большинстве применений отсутствуют требования к физической безопасности. |
| Максимальные или оптимальные значения пропускной способности, производительности, коэффициента дезактивации и уменьшения объема | <ul style="list-style-type: none"> — 7,5–11,5 л/ч с ступенчатым наращиванием путем увеличения количества бочек; — уменьшение объема 2:1 для гранулированной/порошкообразной смолы, 5:1 для шлама и 100:1 для жидкостей; — коэффициент дезактивации переработанных жидкостей равен 1000 (за исключением летучих веществ). |
| Потребности в помещениях (зона хранения расходных материалов, складирования и хранения отходов) | Зависят от скорости переработки, но обычно требуется хранение 200-литровых бочек модели DOT 17C с необработанными отходами и с переработанными отходами. |
| Перечень расходных материалов, необходимых для технологического процесса (технологические среды, контейнеры, детали, химреагенты) | 200-литровые бочки модели DOT 17C для необработанных отходов. |
| Общие требования к технологическому обеспечению (воздух, вода, пар, электроснабжение, вентиляция) | <ul style="list-style-type: none"> — Электроснабжение: 230 В для блока. — Может потребоваться вентиляция в соответствии с требованиями принимающей площадки. |
| Погрузочно-разгрузочное оборудование, необходимое для размещения, эксплуатации, а также манипулирования с отходами и их упаковки (краны, вилочные погрузчики, грузоподъемность) | Вилочный погрузчик, погрузчик поддонов или подъемник. |
| Общие требования промышленной и радиационной безопасности (барьеры, защита органов дыхания, дозиметрический контроль персонала, меры контроля радиоактивного загрязнения, мониторинг воздуха) | <ul style="list-style-type: none"> — Во время сушки рекомендуется радиационный контроль бочек. — Рекомендуется направлять эфлюенты из вытяжной вентиляции в системы вентиляции предприятия для мониторинга. — Общие меры предосторожности, связанные с использованием высокотемпературного оборудования. |

4.3. ГАЗООБРАЗНЫЕ ОТХОДЫ

4.3.1. Очистка отходящих газов

4.3.1.1. Описание типичной системы

Мобильная система очистки отходящих газов — это автономный блок, предназначенный для очистки отходящих газов, образующихся при термической переработке радиоактивных отходов (например, в инсинераторах и солеплавильных печах) или дезактивации поверхностей механическими методами. Перед сбросом отходящих газов в окружающую среду система удаляет из них аэрозоли и твердые частицы. Система, показанная на рис. 21, установлена внутри стандартного транспортного контейнера.



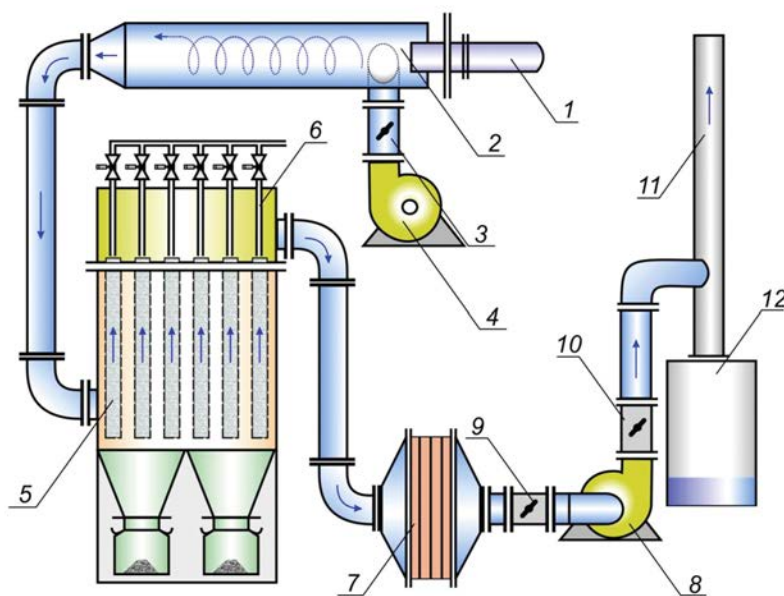
РИС. 21. Мобильная система очистки отходящих газов (с разрешения МосНПО «Радон»).

4.3.1.2. Описание отдельных компонентов и элементов

Система состоит из:

- воздушного смесителя;
- нескольких вентиляторов;
- картриджного фильтра;
- фильтра HEPA для улавливания мелких твердых частиц;
- сборника конденсата;
- выводной трубы для выпуска очищенного газа;
- системы мониторинга для выводной трубы.

Если необходимо снизить температуру отработавших газов, содержащих радиоактивные аэрозоли, они направляются в воздушный смеситель, в котором они смешиваются с воздухом от приточного вентилятора (см. рис. 22). Затем газы проходят через перфорированные картриджные фильтрующие элементы трубчатого фильтра, изготовленные из базальтовой ткани. Во время очистки газов поверхности фильтрующих элементов могут быть регенерированы путем подачи серии импульсов сжатого воздуха из компрессора во внутреннюю полость фильтрующих элементов. Затем удаленные аэрозольные частицы собираются в двух цилиндрических емкостях в нижней части картриджного фильтра. Окончательная очистка газов осуществляется путем фильтрации в фильтре тонкой очистки (например, фильтра HEPA). Очищенные газы сбрасываются в окружающую среду через съемную выводную трубу, которая оснащена сборником конденсированной воды.



- (1) поступающий газ; (2) воздушный смеситель; (3, 9, 10) демпферы; (4, 8) вентиляторы; (5) перфорированные трубки фильтрующих элементов; (6) система регенерации картриджного фильтра; (7) фильтр HEPA; (11) выводная труба; (12) сборник конденсата.

РИС. 22. Схематическое изображение мобильной системы очистки отходящих газов (с разрешения компании МосНПО «Радон»).

4.3.1.3. Преимущества данной системы

- Высокая производительность переработки;
- низкие затраты на переработку;
- низкий объем вторичных отходов, требующих обработки или кондиционирования;
- простота обслуживания системы;
- очистка газа при повышенной температуре;
- малый объем технического обслуживания;
- низкий уровень облучения персонала;
- легкость дезактивации и вывода из эксплуатации.

4.3.1.4. Ограничения данной системы

- Температура газа не должна превышать 1000°C.
- Очищаемый газ не должен содержать химически агрессивных, легковоспламеняющихся и взрывоопасных примесей.
- Система очистки отходящих газов не имеет биологической защиты, поэтому максимальная удельная активность газа не должна превышать 1×10^5 Бк/м³.
- Система очистки отходящих газов может очищать газ только от аэрозолей.
- Система очистки отходящих газов не способна кондиционировать вторичные радиоактивные отходы. Отработанные фильтрующие материалы и пыль требуют упаковки и транспортировки на отдельную площадку для кондиционирования.

4.3.1.5. Основные соображения при выборе

В таблице 14 приведены основные соображения при выборе систем очистки отходящих газов.

ТАБЛИЦА 14. ОСНОВНЫЕ СООБРАЖЕНИЯ ПРИ ВЫБОРЕ СИСТЕМ ОЧИСТКИ ОТХОДЯЩИХ ГАЗОВ

| Рассматриваемый параметр | Описание |
|---|--|
| Характеристики поступающих и исходных отходов (объем, вид, активность, форма) | Газы из установок термической переработки отходов (инсинераторов, солеплавильных печей) или установок дезактивации, использующих механическую дезактивацию; <200 000 м ³ /год; удельная активность 1×10^5 Бк/м ³ . |
| Характеристики вторичных отходов, образующихся в технологическом процессе (объем, вид, активность, форма) | На 200 000 м ³ очищенных газов: <ul style="list-style-type: none">— радиоактивная опресненная вода: <math>0,05</math> м³, концентрация активности <math>1 \times 10^2</math> Бк/л;— материал ткани на основе базальта: <math>0,2</math> м³, общая активность <math>1 \times 10^8</math> Бк;— пыль от аэрозольных частиц: <math>20</math> кг, удельная активность <math>1 \times 10^8</math> Бк/л. |

ТАБЛИЦА 14. ОСНОВНЫЕ СООБРАЖЕНИЯ ПРИ ВЫБОРЕ СИСТЕМ ОЧИСТКИ ОТХОДЯЩИХ ГАЗОВ (продолж.)

| Рассматриваемый параметр | Описание |
|--|---|
| Характеристики окончательной формы отходов (тип контейнера, активность, форма) | <p>На 200 000 м³ очищенных газов:</p> <ul style="list-style-type: none"> — менее двух 200-литровых бочек с 0,05 м³ радиоактивной опресненной воды, 20 кг радиоактивной пыли из аэрозольных частиц и 0,2 м³ радиоактивного материала ткани (общая активность <math>2 \times 10^9 \text{ Бк}</math>); — вторичные отходы, кондиционированные путем цементирования после транспортировки (общий объем <math>< 0,4 \text{ м}^3</math>). |
| Нормативно-правовые соображения (национальные, местные, международные, связанные с лицензированием, эксплуатацией, перемещением и транспортировкой отходов) | Необходимо соблюдать местные, региональные и национальные правила. |
| Требования к транспортировке (эксплуатация системы, транспортировка отходов, подъездные дороги) | Вилочный погрузчик или грузовой автомобиль с краном. |
| Режим использования: периодическая или непрерывная переработка (система, вторичные отходы) | Система может использоваться для непрерывной переработки газов объемом до 200 000 м ³ . После замены фильтра переработка может быть продолжена. |
| Расходы: контрактные договоренности (аренда/закупки); периодическая (месяц/год/кампания/объем) установка; расходные материалы; персонал; удаление и утилизация оборудования; транспортировка; окончательная утилизация отходов | <ul style="list-style-type: none"> — Капитальные затраты на установку составляют ~70 000 долл. США. — Стоимость обработки очень низка и зависит от характеристик поступающих отходов. — Стоимость окончательного захоронения отходов в различных государствах неодинакова. |
| Конфигурация системы (мобильная или смонтированная на салазках) | Монтируется на салазках в контейнере ИСО. |
| Занимаемая площадь или физический размер мобильной системы (максимальные размеры, пространство для обращения с технологическими средами/замены/ремонта) | 6 м × 2,4 м × 2,7 м (высота). |
| Общая масса (для определения нагрузки на пол и перемещения) | <math>< 4200 \text{ кг}</math>. |
| Кадровые ресурсы (численность, нанимаемый по контракту персонал, техническая квалификация, операции, физическая безопасность, техническое обслуживание) | <ul style="list-style-type: none"> — При эксплуатации: один работник (физик-технолог, высшее образование не требуется). — При ремонте: два работника (механик и электрик, высшее образование не требуется). |

ТАБЛИЦА 14. ОСНОВНЫЕ СООБРАЖЕНИЯ ПРИ ВЫБОРЕ СИСТЕМ ОЧИСТКИ ОТХОДЯЩИХ ГАЗОВ (продолж.)

| Рассматриваемый параметр | Описание |
|---|--|
| Максимальная или оптимальная пропускная способность и производительность, а также уменьшение объема | — 450 м ³ /ч (900 м ³ /ч с охлаждающим воздухом); — коэффициент уменьшения объема ~500 000. |
| Потребности в помещениях (зона хранения расходных материалов, складирования и хранения отходов) | <20 м ² . |
| Перечень расходных материалов, необходимых для технологического процесса (технологические среды, контейнеры, детали, химреагенты) | — 200-литровые бочки; — 12 м ² материала ткани на основе базальта; — один фильтр НЕРА (пропускной способностью не менее 500 м ³ /ч). |
| Общие требования к технологическому обеспечению (воздух, вода, пар, электроснабжение, вентиляция) | Электроснабжение: 380 В перем. тока, 50 Гц, 20 кВт. |
| Погрузочно-разгрузочное оборудование, необходимое для размещения, эксплуатации, а также манипулирования с отходами и их упаковки (краны, вилочные погрузчики, грузоподъемность) | Требуется кран. |
| Общие требования промышленной и радиационной безопасности (барьеры, защита органов дыхания, дозиметрический контроль персонала, меры контроля радиоактивного загрязнения, мониторинг воздуха) | — Оператор; — мониторинг на установке методами медицинской физики, особенно вблизи двух цилиндрических емкостей в нижней части картриджного фильтра. |

Примечание: Фильтр НЕРА — высокоэффективный сухой воздушный фильтр.

5. СИСТЕМЫ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ОТХОДОВ

5.1. ИЗЪЯТЫЕ ИЗ УПОТРЕБЛЕНИЯ ЗАКРЫТЫЕ ИСТОЧНИКИ

5.1.1. Герметизация изъятых из употребления закрытых источников в металлическую матрицу

5.1.1.1. Описание типичной системы

Система «Москит» предназначена для герметизации изъятых из употребления закрытых источников в металлические матрицы, которые будут помещены в контейнеры для длительного

хранения или в подземные пункты хранения колодезного типа [28–31]. Металлические матрицы используются для обеспечения теплоотвода и биологической защиты. Конфигурации системы, показанные на рис. 23 и 24, предназначены для выполнения следующих операций:



РИС. 23. Общий вид системы «Москит» (с разрешения МосНПО «Радон»).

- перекачивание и сбор воды или других жидкостей, которые могут присутствовать в контейнере для хранения;
- сушка внутренних компонентов контейнера или колодца, если это необходимо;
- плавление материала матрицы и поддержание требуемой температуры;
- заливка расплавленного материала в контейнер или хранилище отработавших радиоактивных источников;
- очистка отходящих газов, образовавшихся во время сушки, плавления или заливки материала.

Минимальный необходимый диаметр для заключения герметизированных отработавших радиоактивных источников в металлическую матрицу с использованием технологии «Москит» составляет 30 мм для контейнеров или хранилища колодезного типа.

5.1.1.2. Описание отдельных компонентов и элементов

Система «Москит» состоит из следующих блоков:

- а) переходной блок обеспечивает герметичное соединение между контейнером или хранилищем и другими функциональными блоками модуля (блок газоочистки, нагреватель воздуха и блок перемещения нагретого металла). Устройство имеет боковой фланец для соединения с



Рис. 24. Технологическая схема системы «Москит».

блоком газоочистки и верхний фланец для соединения с другими функциональными блоками. Переходной блок устанавливается на верхнюю часть контейнера или хранилища колодезного типа;

- b) блок газоочистки очищает и сбрасывает отходящие газы, образующиеся в контейнере или хранилище во время сушки, плавления и заливки. Он состоит из воздушного фильтра тонкой очистки и радиального вытяжного вентилятора с выводящей трубой длиной 2 м. Блок газоочистки соединен с переходным блоком резиновым шлангом. Блок газоочистки может обрабатывать до 1000 м³/ч и обеспечивает разрежение менее 500 Па;
- c) блок откачки воды удаляет стоячую воду и другие жидкости, которые могут присутствовать в контейнере или хранилище. Он состоит из герметичной цилиндрической емкости с вакуумным насосом. Когда насос работает, создавая вакуум, жидкость из контейнера или хранилища закачивается через шланг в емкость. Она оснащена автоматической системой контроля уровня для предотвращения переполнения;
- d) воздухонагреватель нагревает и высушивает воздух, поступающий в контейнер или хранилище. Он оснащен фланцем, герметично соединенным с переходным блоком. Выпускной патрубок воздухонагревателя подсоединен к шлангу, который подает нагретый воздух на дно контейнера или хранилища. Блок газоочистки обеспечивает циркуляцию воздуха через воздухонагреватель;
- e) плавитель предназначен для плавления матричных материалов, нагрева и поддержания необходимой температуры. Он состоит из плавильной камеры из нержавеющей стали с электронагревателями. Нижняя часть плавильной камеры оборудована блоком выпуска

расплава для выпуска матричных материалов. Электронагреватели плавителя также нагревают блок выпуска расплава. Входная крышка плавильной камеры закрывается для уменьшения потерь тепла и предотвращения выделения пара из матричного материала;

- f) блок перемещения нагретого металла предназначен для подачи расплавленного матричного материала на глубину до 7 м. Металлический шланг подогревается, что предотвращает преждевременную кристаллизацию расплава внутри шланга. Металлический шланг представляет собой гибкий шланг из нержавеющей стали, заключенный в теплоизоляционную оболочку из стекловолокна. Металлический шланг нагревается электрическим током. Металлический шланг направляется в хранилище или контейнер через переходной блок. При использовании контейнеров вместо хранилища колодезного типа блок перемещения нагретого металла перекрывает выпуск расплавленных матричных материалов;
- g) пульт питания и управления подает электропитание на модульные блоки, контролирует оборудование и управляет операциями перекачивания, сушки и заливки. Данный блок включает в себя источник питания и панель управления, понижающий трансформатор (380/60 В) и соединительные кабели. На передней части пульта питания и управления находятся контрольно-измерительные приборы и органы управления. Разъемы электропитания и оборудование управления расположены в задней части шкафа.

5.1.1.3. Преимущества данной системы

- Легкость установки на площадке.
- Низкая стоимость переработки.
- Наличие блока перемещения нагретого металла позволяет предотвратить закупорку шланга.
- Низкий объем вторичных отходов (вода, фильтрующие материалы), требующих обработки или кондиционирования.
- Простота обслуживания системы.
- Низкие потребности в техническом обслуживании: необходимы один или два оператора, блок перемещения нагретого металла является единственной частью установки, требующей перевода в нерабочее состояние.
- Простота вывода из эксплуатации.

5.1.1.4. Ограничения данной системы

- Емкость плавителя не превышает 5 л металла (свинца или свинцового сплава).
- Температура расплавленного металла не должна превышать 450°C.
- Расстояние по вертикали при выпуске расплава не должно превышать 5 м.
- Толщина слоя отработавших радиоактивных источников не должна превышать 0,2 м.

5.1.1.5. Основные соображения при выборе

В таблице 15 приведены основные соображения при выборе систем, предназначенных для герметизации изъятых из употребления закрытых источников.

ТАБЛИЦА 15. ОСНОВНЫЕ СООБРАЖЕНИЯ ПРИ ВЫБОРЕ СИСТЕМ, ПРЕДНАЗНАЧЕННЫХ ДЛЯ ГЕРМЕТИЗАЦИИ ИЗЪЯТЫХ ИЗ УПОТРЕБЛЕНИЯ ЗАКРЫТЫХ ИСТОЧНИКОВ

| Рассматриваемый параметр | Описание |
|--|--|
| Характеристики поступающих и исходных отходов (объем, вид, активность, форма) | <ul style="list-style-type: none"> — Закрытые радиоактивные источники в подземных хранилищах колодезного типа (скважинах) активностью до $6,6 \times 10^6$ ГБк в эквиваленте ^{226}Ra; — закрытые радиоактивные источники в контейнерах для длительного хранения активностью до 370 ГБк в эквиваленте ^{226}Ra. |
| Характеристики вторичных отходов, образующихся в технологическом процессе (объем, вид, активность, форма) | <p>Для подземных хранилищ колодезного типа (скважинных):</p> <ul style="list-style-type: none"> — радиоактивная вода (до $0,1 \text{ м}^3$; удельная активность $<1 \times 10^6$ Бк/л); — фильтр отходящих газов (радиоактивные $<0,2 \text{ м}^3$, горючие). <p>Вторичные отходы для контейнеров для длительного хранения отсутствуют.</p> |
| Характеристики окончательной формы отходов (тип контейнера, активность, форма) | <ul style="list-style-type: none"> — Металлическая матрица непосредственно в подземных хранилищах колодезного типа (скважинных); — контейнеры, оговариваемые принимающей площадкой (например 200-литровые бочки). |
| Нормативно-правовые соображения (национальные, местные, международные, связанные с лицензированием, эксплуатацией, перемещением и транспортировкой отходов) | <p>В отношении выбросов отходящих газов, обработки собранной жидкости, транспортировки отходов и хранения или утилизации отходов могут действовать местные, региональные, национальные и международные правила.</p> |
| Требования к транспортировке (эксплуатация системы, транспортировка отходов, подъездные дороги) | <ul style="list-style-type: none"> — Транспортный контейнер или упаковочные коробки для транспортировки системы; — подъемные механизмы не требуются. |
| Режим использования: периодическая или непрерывная переработка (система, вторичные отходы) | <p>Периодическая переработка.</p> |
| Расходы: контрактные договоренности (аренда/закупки); периодическая (месяц/год/кампания/объем) установка; расходные материалы; персонал; удаление и утилизация оборудования; транспортировка; окончательная утилизация отходов | <ul style="list-style-type: none"> — Капитальные затраты на установку составляют ~50 000 долл. США. — Стоимость обработки одного подземного хранилища колодезного типа (скважины) или одного контейнера для долгосрочного хранения может достигать 50 000 долл. США. |
| Конфигурация системы (мобильная или смонтированная на салазках) | <p>Смонтированная на салазках.</p> |

ТАБЛИЦА 15. ОСНОВНЫЕ СООБРАЖЕНИЯ ПРИ ВЫБОРЕ СИСТЕМ, ПРЕДНАЗНАЧЕННЫХ ДЛЯ ГЕРМЕТИЗАЦИИ ИЗЪЯТЫХ ИЗ УПОТРЕБЛЕНИЯ ЗАКРЫТЫХ ИСТОЧНИКОВ (продолж.)

| Рассматриваемый параметр | Описание |
|---|--|
| Занимаемая площадь или физический размер мобильной системы (максимальные размеры, пространство для обращения с технологическими средами/замены/ремонта) | <3 м ² . |
| Общая масса (для определения нагрузки на пол и перемещения) | <900 кг. |
| Кадровые ресурсы (численность, нанимаемый по контракту персонал, техническая квалификация, операции, физическая безопасность, техническое обслуживание) | <ul style="list-style-type: none"> — Эксплуатация: один физик-технолог, высшее образование; один неквалифицированный рабочий. — Техническое обслуживание: один механик; один электрик. |
| Максимальная или оптимальная пропускная способность и производительность, а также уменьшение объема | Одно заполненное подземное хранилище колодезного типа (скважина) или один контейнер для длительного хранения за двухдневный период. |
| Потребности в помещениях (зона хранения расходных материалов, складирования и хранения отходов) | <10 м ² . |
| Перечень расходных материалов, необходимых для технологического процесса (технологические среды, контейнеры, детали, химреагенты) | <p>Для одного заполненного подземного хранилища колодезного типа (скважины) или одного контейнера для длительного хранения:</p> <ul style="list-style-type: none"> — 500–1000 кг Pb; — 500–1000 кг сплава с низкой точкой плавления. |
| Общие требования к технологическому обеспечению (воздух, вода, пар, электроснабжение, вентиляция) | Электроснабжение: 380 В перем. тока, 50 Гц, 20 кВт. |
| Погрузочно-разгрузочное оборудование, необходимое для размещения, эксплуатации, а также манипулирования с отходами и их упаковки (краны, вилочные погрузчики, грузоподъемность) | Не требуется. |
| Общие требования промышленной и радиационной безопасности (барьеры, защита органов дыхания, дозиметрический контроль персонала, меры контроля радиоактивного загрязнения, мониторинг воздуха) | <ul style="list-style-type: none"> — Особые требования безопасности отсутствуют; — радиационный мониторинг и меры контроля в соответствии с требованиями принимающей площадки; — как правило, минимальные радиационные обследования, зональный контроль и барьеры, а также радиационный мониторинг отходящих газов. |

5.2. ЖИДКИЕ И ВЛАЖНЫЕ ТВЕРДЫЕ ОТХОДЫ

5.2.1. Отверждение (цементирование)

5.2.1.1. Описание типичной системы

Типичная система отверждения состоит из блока цементирования с запрограммированной системой подачи цемента и отходов и экранированного смесительного узла с предварительно заданными объемами отходов. Смешанный продукт собирается в контейнерах для отходов. Управление работой системы производится с панели управления мобильного блока с предохранительными блокировками. Отходы перекачиваются насосной системой из емкости для хранения на принимающей площадке в блок цементирования. Газообразные эфлюенты улавливаются и должны направляться к обеспечивающему мониторинг и санкционированному пункту сброса. Ниже приведены два примера для водных жидких отходов. Пронумерованные бочки на рис. 25 отражают последовательность операций, при которой пустой контейнер помещается на конвейер (1), затем заполняется отходами и цементом (2) и далее перемещается в сторону для схватывания (3) [32].

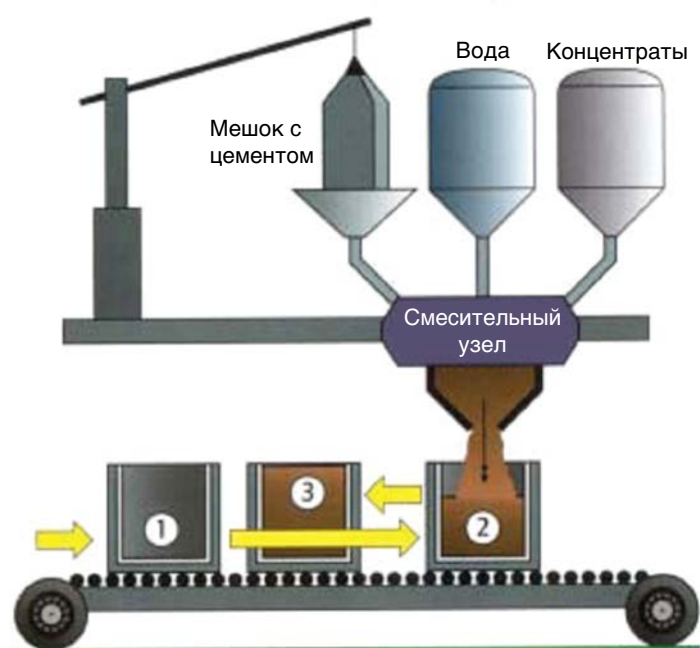


РИС. 25. Мобильная система цементирования (с разрешения компании «СОКОДЕИ»).

Показанная на рис. 26 индийская установка для цементирования полностью заключена в грузовой контейнер размерами 2,5 м × 6 м × 3 м, который смонтирован на прицепе. Она используется для иммобилизации низкоактивных жидких отходов. Отходы смешиваются с цементом, образуя жидкую массу, которую можно заливать в контейнер (периодический режим) или перекачивать в траншеи для захоронения отходов (непрерывный режим работы). Производительность системы составляет 500 л/ч смеси в периодическом режиме и 1000 л/ч при непрерывной работе.

Сухой обычный портландский цемент транспортируется с помощью вакуумной системы в бункер для хранения цемента мобильного блока. Цемент подается шнековым транспортером в загрузочную воронку. Отходы, хранящиеся в накопительном баке установки, перекачиваются



РИС. 26. Мобильный узел цементирования водных жидких отходов (с разрешения ЦАИБ).

в смесительную емкость. Одновременно с этим через поворотный клапан загрузочной воронки подается дозированное количество цемента. Образующаяся смесь закачивается в контейнеры для хранения отходов и в траншеи для захоронения. Все оборудование, контактирующее с радиоактивным материалом, заключено в экранированный корпус, изготовленный из пластин из углеродистой стали толщиной 25 мм, и находится под отрицательным давлением 25 мм водяного столба. Управление устройством осуществляется из кабины управления с помощью персонального компьютера, программируемого логического контроллера (ПЛК) или кнопок. Предусматривается очистка и дезактивация системы водой.

5.2.1.2. Описание отдельных компонентов и элементов

- Механические средства манипулирования с отходами и цементом (насосы, транспортер, бочка/специальный контейнер);
- смесительный узел;
- отвод, фильтрация и мониторинг газообразных эфлюентов;
- контрольно-измерительные приборы и средства управления.

5.2.1.3. Преимущества данной системы

- Простота эксплуатации и обслуживания;
- гравитационная или вакуумная система перемещения цемента позволяет избежать проблем с пылью;
- умеренная производительность;
- хорошее качество продукции на основе лабораторной оценки требуемого соотношения отходов и цемента в соответствии с критериями приемлемости при хранении или захоронении в юрисдикции, где будут обрабатываться отходы;
- возможны варианты конструкции для удаления шлама процесса химического осаждения;
- управление работой с панели управления;
- может использоваться для помещения твердых отходов в матрицу;
- имеются модели с полностью заключенной в контейнер системой.

5.2.1.4. Ограничения данной системы

- Система рассчитана на диапазон температур 10–45°C и не может эксплуатироваться при низких температурах окружающей среды.
- Небольшие объемы образующихся вторичных отходов необходимо обрабатывать отдельно.
- Во время процесса необходимо вентилировать рабочую камеру с помощью специальной вытяжной системы, с тем чтобы гарантировать безопасное обращение с туманом, содержащим цементный порошок.
- Важно правильно охарактеризовать состав отходов и проводить лабораторную оценку с целью убедиться, что готовые отвержденные отходы обладают желаемыми характеристиками. Например, органические примеси могут препятствовать схватыванию цемента и должны быть удалены перед добавлением цемента в отходы путем фильтрации через гидрофобные среды или активированный уголь. Некоторые неорганические минералы, такие как сульфаты и боросодержащие материалы, также влияют на прочность конечного цементного продукта.

5.2.1.5. Основные соображения при выборе

В таблице 16 приведены основные соображения при выборе систем цементирования.

ТАБЛИЦА 16. ОСНОВНЫЕ СООБРАЖЕНИЯ ПРИ ВЫБОРЕ СИСТЕМ ОТВЕРЖДЕНИЯ (ЦЕМЕНТИРОВАНИЯ)

| Описание | Подробные сведения о системе из Франции | Подробные сведения о системе из Индии |
|---|---|--|
| Характеристики поступающих и исходных отходов (объем, вид, активность, форма) | <ul style="list-style-type: none"> — Концентраты выпаривания жидких отходов обычно хранятся в резервуаре; — В до 30 000 частей на миллион; — На до 120 000 частей на миллион; — Р до 20000 частей на миллион; — активность: в зависимости от требований к экранированию и захоронению. | <ul style="list-style-type: none"> — Жидкие отходы, обычно хранятся в резервуаре; — до 2% (масс./об.) взвешенных твердых частиц; — активность: низкоактивные водные отходы в зависимости от требований к экранированию и захоронению. |
| Характеристики вторичных отходов, образующихся в технологическом процессе (объем, вид, активность, форма) | Система также обеспечивает кондиционирование растворов для очистки. Промывочная вода, используемая для очистки системы между партиями отходов, при необходимости может использоваться в следующей партии. | |
| Характеристики окончательной формы отходов (тип контейнера, активность, форма) | Блок цементных отвержденных отходов, характеристики в зависимости от требований к окончательному захоронению (в бочках или без упаковки). | |
| Нормативно-правовые соображения (национальные, местные, международные, лицензирование, эксплуатация, перемещение и транспортировка отходов) | За исключением окончательного пакетного соглашения, системы не требуют сложных нормативных или правовых процессов для развертывания. | |

ТАБЛИЦА 16. ОСНОВНЫЕ СООБРАЖЕНИЯ ПРИ ВЫБОРЕ СИСТЕМ ОТВЕРЖДЕНИЯ (ЦЕМЕНТИРОВАНИЯ) (продолж.)

| Описание | Подробные сведения о системе из Франции | Подробные сведения о системе из Индии |
|--|--|---|
| Требования к транспортировке (эксплуатация системы, транспортировка отходов, подъездные дороги) | <ul style="list-style-type: none"> — Транспортный контейнер, устанавливаемый на прицеп; — установка в одном контейнере ИСО; — контейнеры с отвержденными отходами подлежат транспортировке для захоронения. | <ul style="list-style-type: none"> — Транспортный контейнер, устанавливаемый на прицеп; — контейнеры с отвержденными отходами подлежат транспортировке для захоронения. |
| Режим использования: периодическая или непрерывная переработка (система, вторичные отходы) | Периодическая переработка поступающих отходов. | |
| Расходы: контрактные договоренности (аренда/закупки); периодическая (месяц/год/кампания/объем) установка; расходные материалы; персонал; удаление и утилизация оборудования; транспортировка; окончательная утилизация отходов | <ul style="list-style-type: none"> — Умеренные расходы, периодическая эксплуатация (типичная стоимость блока в Индии составит ~400 000 долл. США). — Расходные материалы: цемент, вода для очистки, запасные части. — Подготовленный персонал. — Легко удаляется после отсоединения трубопроводов для отходов. | |
| Конфигурация системы (мобильная или смонтированная на салазках) | Компоненты, монтируемые на салазках, подлежат сборке на площадке. | Мобильная. |
| Занимаемая площадь или физический размер мобильной системы (максимальные размеры, пространство для обращения с технологическими средами/замены/ремонта) | <ul style="list-style-type: none"> — Пространство для блока размерами 4 м × 9 м × 5 м; — дорога для въезда; — зона свободного доступа вокруг мобильного устройства шириной не менее 2 м; | <ul style="list-style-type: none"> — Пространство для 6-метрового контейнера МСО и прицепа; — дорога для въезда; — зона свободного доступа вокруг мобильного устройства шириной не менее 2 м; — ограждение зоны перемещения продукта с целью воспрепятствовать проникновению в нее посторонних лиц, кроме обученных операторов. |
| Общая масса (для определения нагрузки на пол и перемещения) | ~15 т. | |

ТАБЛИЦА 16. ОСНОВНЫЕ СООБРАЖЕНИЯ ПРИ ВЫБОРЕ СИСТЕМ ОТВЕРЖДЕНИЯ (ЦЕМЕНТИРОВАНИЯ) (продолж.)

| Описание | Подробные сведения о системе из Франции | Подробные сведения о системе из Индии |
|---|---|---|
| Кадровые ресурсы (численность, нанимаемый по контракту персонал, техническая квалификация, операции, физическая безопасность, техническое обслуживание) | <ul style="list-style-type: none"> — Установка, эксплуатация, вывод из эксплуатации: четыре обученных оператора, включая одного для крана и вилочного погрузчика; — специалист по радиационной защите в соответствии с требованиями принимающей площадки. | <ul style="list-style-type: none"> — Два квалифицированных оператора в смене; — специалист по радиационной защите в соответствии с требованиями принимающей площадки. |
| Максимальная или оптимальная пропускная способность и производительность, а также уменьшение объема | ~1 м ³ за смену. | 0,5–1 м ³ за смену. |
| Потребности в помещениях (зона хранения расходных материалов, складирования и хранения отходов) | 100 м ² , включая установку по обработке (36 м ²) в контролируемой зоне. | Требуемое пространство для хранения цемента является минимальным для работы в течение недели. |
| Перечень расходных материалов, необходимых для технологического процесса (технологические среды, контейнеры, детали, химреагенты) | <ul style="list-style-type: none"> — Предварительно дозированные упаковки извести; — цемент; — заполнители. | <ul style="list-style-type: none"> — Фильтр системы вытяжной вентиляции; — контейнеры/бочки для сбора перемешанного продукта; — цемент. |
| Общие требования к технологическому обеспечению (воздух, вода, пар, электроснабжение, вентиляция) | <ul style="list-style-type: none"> — Сжатый воздух; — деминерализованная вода; — электроснабжение: 25 кВт; — вентиляция. | <ul style="list-style-type: none"> — Сжатый воздух; — вода; — электроснабжение: 25 кВт; |
| Погрузочно-разгрузочное оборудование, необходимое для размещения, эксплуатации, а также манипулирования с отходами и их упаковки (краны, вилочные погрузчики, грузоподъемность) | <ul style="list-style-type: none"> — Размещение: кран и вилочный погрузчик (10 т). — Эксплуатация: вилочный погрузчик (расходный материал, окончательная упаковка). | |
| Общие требования промышленной и радиационной безопасности (барьеры, защита органов дыхания, дозиметрический контроль персонала, меры контроля загрязнения, мониторинг воздуха) | <ul style="list-style-type: none"> — Никаких особых требований, кроме дозиметрического контроля облучения персонала; — мониторы гамма-излучения в зоне, портативное оборудование радиационного мониторинга; — в зоне транспортировки отходов и перемещения продукции требуются барьеры для предотвращения несанкционированных перемещений. | |

5.2.2. Герметизация отработавших ионообменных смол в полимерных вяжущих

5.2.2.1. Описание типичной системы

Эта технология предусматривает перекачивание отходов из емкости-хранилища на принимающей площадке в блок обработки. Ионообменная среда обезвоживается и заключается в двухкомпонентную полимерную матрицу в экранированных 200-литровых бочках. Вода возвращается на принимающую площадку. Газообразные эфлюенты улавливаются и должны направляться к обеспечивающему мониторинг и санкционированному пункту сброса.

Типичная система состоит из блока герметизации, перевозимого на автоприцепе, блока с двумя емкостями для реагирующих компонентов технологического процесса (эпоксидной смолы и отвердителя), станции управления, встроенной в контейнер ИСО, и грузового автомобиля технического обеспечения, перевозящего инструменты и запасные части (см. рис. 27 и 28) [33].

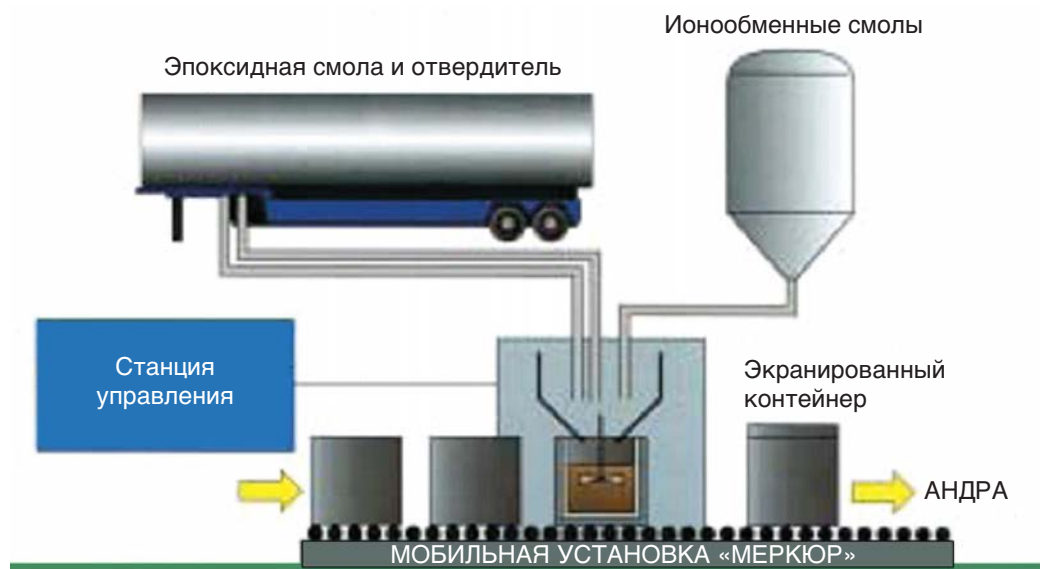


РИС. 27. Схема мобильной системы герметизации ионообменных смол в полимерах (с разрешения компании «СОКОДЕИ»).

5.2.2.2. Описание отдельных компонентов и элементов

- Органы управления;
- механическое манипулирование;
- система взвешивания;
- отвод и мониторинг газообразных эфлюентов.

5.2.2.3. Преимущества данной системы

- Гораздо более рентабельна, чем стационарная система на каждом предприятии;
- специальные постоянные квалифицированные бригады;
- короткие кампании (по два месяца) и длительные промежутки времени между ними (например, могут быть более трех лет);



РИС. 28. Мобильная система герметизации ионообменных смол в полимерах (с разрешения компании «СОКОДЕИ»).

- специальные конструкции, соответствующие различным размерам вспомогательных зданий ядерных установок;
- только одна конструкция для эксплуатации и технического обслуживания;
- общие процедуры помещения в матрицу и радиологической характеристики отходов (результаты может быть проще сравнивать и контролировать);
- общая документация (безопасность, эксплуатационная система и обучение).

5.2.2.4. Ограничения данной системы

- Кампанию необходимо планировать на длительный период (около двух лет) с учетом различных требований предприятий без предыдущего опыта;
- для обеспечения непрерывной работы требуется более двух бригад по семь человек.

5.2.2.5. Основные соображения при выборе

В таблице 17 приведены основные соображения при выборе системы герметизации ионообменных смол в полимерных вяжущих.

ТАБЛИЦА 17. ОСНОВНЫЕ СООБРАЖЕНИЯ ПРИ ВЫБОРЕ СИСТЕМЫ ГЕРМЕТИЗАЦИИ ИОНООБМЕННЫХ СМОЛ В ПОЛИМЕРНЫХ ВЯЖУЩИХ

| Рассматриваемый параметр | Описание |
|--|--|
| Характеристики поступающих и исходных отходов (объем, вид, активность, форма) | <ul style="list-style-type: none"> — Ионообменные смолы из систем очистки жидкостей (например, систем очистки теплоносителя первого контура реактора, очистки бассейна для отработавшего топлива, установок для обработки жидких отходов). — Ионообменные среды, хранящиеся в воде в емкости на площадке. — Сетки из полистирольной, фенольной, акриловой или формофенольной смолы; шарики или зерна смолы диаметром 0,3–1,2 мм; катионные или анионные смолы. — Химические компоненты могут включать: бораты, Ca, Co, Kr, Fe, Li, Na и Ni. — Приемлемые радионуклиды (например, ^{110m}Ag, ^{57}Co, ^{58}Co, ^{60}Co, ^{134}Cs, ^{137}Cs, ^{54}Mn). — Радиологические критерии: общая активность бета-излучателей и гамма-излучателей <math>13\ 500\ \text{ГБк/м}^3</math>. |
| Характеристики вторичных отходов, образующихся в технологическом процессе (объем, вид, активность, форма) | <ul style="list-style-type: none"> — Водные эфлюенты: вода для хранения ионообменных смол возвращается на принимающую площадку. — Технологические твердые отходы: полиэтиленовые бочки (200-литровые, около двух бочек на $40\ \text{м}^3$ смол). — Средства индивидуальной защиты. |
| Характеристики окончательной формы отходов (тип контейнера, активность, форма) | <ul style="list-style-type: none"> — Обычно экранированный цилиндрический металлический контейнер; — зависят от требований окончательного захоронения. |
| Нормативно-правовые соображения (национальные, местные, международные, связанные с лицензированием, эксплуатацией, перемещением и транспортировкой отходов) | <p>При подключении к трубопроводам на принимающей площадке на нее будут распространяться требования предприятия, определяемые местными, региональными или национальными регулирующими органами.</p> |
| Требования к транспортировке (эксплуатация системы, транспортировка отходов, подъездные дороги) | <ul style="list-style-type: none"> — Два специальных транспортных контейнера, которые соответствуют надлежащим правилам перевозки опасных грузов; — два стандартных транспортных средства без регулирующих ограничений. |
| Режим использования: периодическая или непрерывная переработка (система, вторичные отходы) | <p>Периодическая, кампаниями: обычно $0,3\ \text{м}^3$ отходов на цикл переработки, но объем зависит от размера конечной упаковки.</p> |
| Расходы: контрактные договоренности (аренда/закупки); периодическая (месяц/год/кампания/объем) установка; расходные материалы; персонал; удаление и утилизация оборудования; транспортировка; окончательная утилизация отходов | <ul style="list-style-type: none"> — Оборудование может быть приобретено или арендовано как услуга; — развертывание, монтаж и обучение, как правило, являются единовременными затратами. |

ТАБЛИЦА 17. ОСНОВНЫЕ СООБРАЖЕНИЯ ПРИ ВЫБОРЕ СИСТЕМЫ ГЕРМЕТИЗАЦИИ ИОНООБМЕННЫХ СМОЛ В ПОЛИМЕРНЫХ ВЯЖУЩИХ (продолж.)

| Рассматриваемый параметр | Описание |
|---|--|
| Конфигурация системы (мобильная или смонтированная на салазках) | <ul style="list-style-type: none"> — Самоходный блок герметизации, перевозимый на автоприцепе; — один блок с двумя емкостями для технологических реагентов (эпоксидной смолы и отвердителя); — одна станция управления, размещенная в контейнере ИСО длиной 6,5 м; — один грузовой автомобиль технической поддержки для инструмента и запасных частей. |
| Занимаемая площадь или физический размер мобильной системы (максимальные размеры, пространство для обращения с технологическими средами/замены/ремонта) | <ul style="list-style-type: none"> — Мобильный блок: ~7 м × 2,5 м × 4 м. — Емкость-накопитель полимера: 13 м × 2,5 м диаметром. |
| Общая масса (для определения нагрузки на пол и перемещения) | 37 т (мобильный блок). |
| Кадровые ресурсы (численность, нанимаемый по контракту персонал, техническая квалификация, операции, физическая безопасность, техническое обслуживание) | Установка, эксплуатация: бригада из семи операторов с высоким уровнем квалификации. |
| Максимальная или оптимальная пропускная способность и производительность, а также уменьшение объема | <ul style="list-style-type: none"> — ~1 м³ смолы за 8-часовую смену; — коэффициент уменьшения объема равен ~1. |
| Потребности в помещениях (зона хранения расходных материалов, складирования и хранения отходов) | <ul style="list-style-type: none"> — Блок герметизации обычно устанавливается в зоне с радиационным контролем или контролем физической безопасности. Местоположение зависит от конфигурации площадки и действующих нормативных требований физической безопасности и радиационного контроля. — Другие блоки (емкость, станция управления, мастерская) размещаются в зоне рядом с блоком герметизации. |
| Перечень расходных материалов, необходимых для технологического процесса (технологические среды, контейнеры, детали, химреагенты) | <ul style="list-style-type: none"> — Полимерные компоненты; — контейнеры для отходов. |
| Общие требования к технологическому обеспечению (воздух, вода, пар, электроснабжение, вентиляция) | <ul style="list-style-type: none"> — Воздух; — деминерализованная вода; — электроснабжение; — вентиляция. |
| Погрузочно-разгрузочное оборудование, необходимое для размещения, эксплуатации, транспортировки и упаковки отходов (краны, вилочные погрузчики, грузоподъемность) | Упаковка: кран или вилочный погрузчик. |

ТАБЛИЦА 17. ОСНОВНЫЕ СООБРАЖЕНИЯ ПРИ ВЫБОРЕ СИСТЕМЫ ГЕРМЕТИЗАЦИИ ИОНООБМЕННЫХ СМОЛ В ПОЛИМЕРНЫХ ВЯЖУЩИХ (продолж.)

| Рассматриваемый параметр | Описание |
|---|--|
| Общие требования промышленной и радиационной безопасности (барьеры, защита органов дыхания, дозиметрический контроль персонала, меры контроля радиоактивного загрязнения, мониторинг воздуха) | — Дозиметрический контроль персонала; — меры контроля радиоактивного загрязнения. |

6. КОМБИНИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ ОБРАБОТКИ И КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ОТХОДОВ

6.1. ТВЕРДЫЕ ОТХОДЫ

6.1.1. Суперкомпактирование

6.1.1.1. Описание типичной системы

Гидравлические системы компактирования твердых отходов, находящихся в бочках или специальных контейнерах, развивающие усилия более 500 т, обычно называются суперкомпакторами. Как правило, суперкомпактор состоит из вертикального блока компактирования с соответствующими органами управления, систем подачи и удаления бочек с отходами и спрессованных дисков, называемых шайбами. Мобильные суперкомпакторы доступны в конфигурациях с монтажом на салазках или на прицепе. На рис. 29 показан блок с монтажом на салазках, а на рис. 30 показана версия с монтажом на прицепе. Подлежащие компактированию бочки подаются на конвейерах и размещаются на платформе компактора под гидроцилиндром. Система также включает систему направленной вентиляции и фильтрации газов камеры компактирования, контролирующую выброс радиоактивных частиц. Во время компактирования бочек с необработанными отходами может выделяться вода, которую необходимо собирать или удалять для очистки. Мобильная система также требует наличия зон хранения вторичных защитных оболочек, емкостей для сбора жидких отходов и помещений для фильтров.

6.1.1.2. Описание отдельных компонентов и элементов

Типичными компонентами мобильного суперкомпактора являются:

- гидропресс и конструкционные опоры, смонтированные на прицепе;
- силовой агрегат гидросистемы;
- система управления гидросистемы;
- системы манипулирования с материалами при подаче бочек и манипулировании с шайбами, включая лебедки;
- система вентиляции для радиоактивной зоны;
- система кондиционирования воздуха для поста управления;



Рис. 29. Суперкомпактор с монтажом на салазках (с разрешения компании «ГНС гезельшафт фюр нуклеар сервис мбХ»).



Рис. 30. Мобильный суперкомпактор (с разрешения компании «Нюклеко»).

- средства локализации для сбора отходов (канавы и бермы/обваловки) и удерживания небольших объемов жидкости. Жидкость может удаляться с помощью пылесоса для сбора жидкостей или небольшого насоса для последующей утилизации в системе переработки радиоактивных жидкостей.

6.1.1.3. Преимущества данной системы

- Высокие значения коэффициента уменьшения объема;
- значительные усилия компактирования;
- специальные конструкции, соответствующие различным размерам контейнеров;
- хорошая ремонтпригодность;
- хорошо зарекомендовавшее себя оборудование.

6.1.1.4. Ограничения данной системы

- На обеспечиваемый коэффициент уменьшения объема отходов может влиять характер отходов.

6.1.1.5. Основные соображения при выборе

В таблице 18 приведены основные соображения при выборе суперкомпакторов.

ТАБЛИЦА 18. ОСНОВНЫЕ СООБРАЖЕНИЯ ПРИ ВЫБОРЕ СУПЕРКОМПАКТОРОВ

| Рассматриваемый параметр | Описание |
|---|--|
| Характеристики поступающих и исходных отходов (объем, вид, активность, форма) | <p>Форма или характеристики потоков отходов, наиболее часто связанных с мобильным суперкомпактированием, таковы:</p> <ul style="list-style-type: none"> — отходы обычно поставляются в 200-литровых бочках с уровнями мощности дозы до 15 мЗв/ч (с средствами дистанционного манипулирования и экранированием); — отходы низкой плотности, обычно связанные с операциями на установках с радиоактивными материалами (например, бумага, пластик, ткань), а также другие виды отходов более высокой плотности (например, металлы, мусор); — компактирование с низким усилием (в бочках) также может использоваться в качестве этапа предварительной обработки; — возможно компактирование асбеста и других отходов более высокой активности. |
| Характеристики вторичных отходов, образующихся в технологическом процессе (объем, вид, активность, форма) | <ul style="list-style-type: none"> — жидкости или шлам, образующиеся в процессе процесса компактирования; — пыль, образующаяся во время работы; — уровни активности типичны для компактируемых отходов и могут быть наибольшими в ходе процесса в камере компактирования и вокруг нее; — ввиду экстремальных нагрузок, связанных с процессом суперкомпактирования, можно и следует ожидать во время компактирования выхода жидкостей и воздуха. |

ТАБЛИЦА 18. ОСНОВНЫЕ СООБРАЖЕНИЯ ПРИ ВЫБОРЕ СУПЕРКОМПАКТОРОВ
(продолж.)

| Рассматриваемый параметр | Описание |
|--|--|
| Характеристики окончательной формы отходов (тип контейнера, активность, форма) | <ul style="list-style-type: none"> — Окончательная форма отходов обычно представляет собой спрессованный твердый материал (смятые бочки). — Значения коэффициента уменьшения объема зависят от типа отходов и могут находиться в диапазоне от 3 до 8. — Подвергнутые компактированию бочки (также называемые шайбами) после компактирования обычно переупаковываются в бочки наружной упаковки или ящики. |
| Нормативно-правовые соображения (национальные, местные, международные, связанные с лицензированием, эксплуатацией, перемещением и транспортировкой отходов) | Как правило, местные, региональные и национальные правила не является сложным регулирующим или юридическим процессом в плане развертывания. При транспортировке, эксплуатации, мониторинге эфлюентов и захоронении отходов могут применяться местные, региональные и национальные правила. |
| Требования к транспортировке (эксплуатация системы, транспортировка отходов, подъездные дороги) | Системы суперкомпактирования обычно транспортируются трактором с прицепом по дорогам или на барже. Они обычно имеют большой вес и большие габаритные размеры и требуют специальных разрешений или сопровождения во время транспортировки. |
| Режим использования: периодическая или непрерывная переработка (система, вторичные отходы) | Периодическая, по мере потребности. |
| Расходы: контрактные договоренности (аренда/закупки); периодическая (месяц/год/кампания/объем) установка; расходные материалы; персонал; удаление и утилизация оборудования; транспортировка; окончательная утилизация отходов | Системы суперкомпактирования обычно дороги и специально разработаны для применений по обращению с радиоактивными отходами. Они требуют значительных денежных инвестиций для приобретения, аренды и обслуживания. |
| Конфигурация системы (мобильная или смонтированная на салазках) | <ul style="list-style-type: none"> — Системы суперкомпактирования, как правило, устанавливаются на прицепе в конфигурациях с одним и двумя прицепами. — Продолжительность периода настройки обычно составляет 1-2 недели. |
| Занимаемая площадь или физический размер мобильной системы (максимальные размеры, пространство для обращения с технологическими средами/замены/ремонта) | Системы суперкомпактирования требуют значительного рабочего пространства (например 20 м × 16 м) и дополнительного 5-метрового рабочего периметра. |
| Общая масса (для определения нагрузки на пол и перемещения) | <ul style="list-style-type: none"> — Обычно 30–50 т; — для работы требуется прочная бетонная площадка. |

ТАБЛИЦА 18. ОСНОВНЫЕ СООБРАЖЕНИЯ ПРИ ВЫБОРЕ СУПЕРКОМПАКТОРОВ
(продолж.)

| Рассматриваемый параметр | Описание |
|---|---|
| Кадровые ресурсы (численность, нанимаемый по контракту персонал, техническая квалификация, операции, физическая безопасность, техническое обслуживание) | <ul style="list-style-type: none"> — Персонал системы суперкомпактирования, как правило, состоит из оператора, управляющего загрузкой и выгрузкой в системе, а также ведущего оператора системы, обеспечивающего эксплуатацию оборудования. — Управление системой и операции по обеспечению промышленной безопасности: требуется обучение. — Техническое обслуживание: навыки обслуживания гидравлического и другого механического оборудования. |
| Максимальная или оптимальная пропускная способность и производительность, а также уменьшение объема | <ul style="list-style-type: none"> — Типичная производительность или пропускная способность при суперкомпактировании составляет несколько минут на цикл компактирования, при этом типичная удельная пропускная способность составляет 10–15 бочек в час. — Усилия компактирования находятся в диапазоне ~750–2200 т. |
| Потребности в помещениях (зона хранения расходных материалов, складирования и хранения отходов) | <ul style="list-style-type: none"> — Потребности в помещениях для расходных материалов минимальны. — Площадь складирования контейнеров с отходами до и после переработки обычно составляет 15–30 м². |
| Перечень расходных материалов, необходимых для технологического процесса (технологические среды, контейнеры, детали, химреагенты) | <ul style="list-style-type: none"> — Бочки или другие контейнеры; — жидкость в гидросистеме периодически заменяется. |
| Общие требования к технологическому обеспечению (воздух, вода, пар, электроснабжение, вентиляция) | <ul style="list-style-type: none"> — Электроснабжение: 480 В перем. тока, трехфазное, ~300 А; 110/120 В перем. тока, однофазное, 20 А. — Вентиляция: вентиляция с НЕРА-фильтром для поддержания отрицательного давления в помещении для компактирования. |
| Требуется ли погрузочно-разгрузочное оборудование для размещения, эксплуатации, транспортировки и упаковки отходов (краны, вилочные погрузчики, грузоподъемность) | <ul style="list-style-type: none"> — Подъемник для бочек или транспортер; — вилочный погрузчик. |
| Общие требования промышленной и радиационной безопасности (барьеры, защита органов дыхания, дозиметрический контроль персонала, меры контроля радиоактивного загрязнения, мониторинг воздуха) | <ul style="list-style-type: none"> — Общие требования индивидуальной защиты (промышленные и радиологические) определяются принимающей площадкой и могут включать использование защитной одежды, барьеров, а также дозиметрический контроль персонала и помещений. — Защита органов дыхания обычно не требуется. — Встроенная вентиляция и отбор проб воздуха обычно предусмотрены в конструкции системы. |

Примечание: Фильтр НЕРА — высокоэффективный сухой воздушный фильтр.

6.1.2. Уменьшение объема и упаковка активированных компонентов

6.1.2.1. Описание типичной системы

Типичная система уменьшения объема и упаковки активированных компонентов состоит из нескольких компакторов с дистанционным управлением, ножниц, контейнеров для отходов, а также контейнеров для транспортировки и защитных экранов. Основным применением является уменьшение объема реакторных компонентов реакторов с кипящей водой (ВВР) компании «Дженерал электрик», представляющих собой оболочки регулирующих стержней (ОРС), мониторы локального уровня мощности (МЛУМ), фильтры и различные материалы. В число компонентов, используемых в типичном проекте, входят, наряду с прочим:

- усовершенствованное устройство измельчения и резки (УУИР);
- пресс для демонтажа стеллитных вкладышей;
- устройство для обжаривания ОРС;
- резак МЛУМ;
- упаковочное оборудование.

Различные компоненты системы также могут использоваться на реакторных установках с водой под давлением, государственных научно-исследовательских установках, университетских реакторах и других видах коммерческих ядерных установок.

6.1.2.2. Описание отдельных компонентов и элементов

а) Усовершенствованное устройство измельчения и резки

УУИР представляет собой устройство с дистанционным управлением для измельчения и резки облученного оборудования ядерных установок. На рис. 31 показана система, вывешенная рядом с бассейном выдержки отработавшего топлива (БВОТ) при подготовке к использованию.



РИС. 31. Вид УУИР со стороны бассейна (с разрешения компании «Энерджи солюшенз»).

Режущие лезвия имеют нескольких режущих поверхностей. Если режущие поверхности затупились, лезвия можно перевернуть, чтобы использовать новую режущую кромку. Электрический/гидравлический силовой агрегат приводит в движение гидротножицы, использующие деминерализованную воду в качестве рабочей жидкости гидросистемы. Использование деминерализованной воды вместо нефтяных жидкостей предотвращает загрязнение БВОТ в случае утечки.

УУИР оснащена дистанционно демонтируемой системой вакуумирования и фильтрации. Система поддерживает поток воды в зоне рабочей поверхности гидротножиц. Любой мелкий материал, образующийся при резке облученных компонентов, подхватывается потоком воды и осаждается в фильтрах из нержавеющей стали. Не подхватываемые потоком воды слишком тяжелые обрезки падают непосредственно на технологический контейнер. По завершении работы или при снижении эффективности фильтра фильтры легко демонтируются и утилизируются в контейнере для отходов, содержащем облученное оборудование. Фильтры обычно обеспечивают обработку до 100 КРС, после чего требуется их замена.

УУИР состоит из двух основных компонентов, каждый из которых изготовлен из нержавеющей стали. Узел ножиц крепится болтами к станине, на которой находятся транспортировочный контейнер и вакуумная система, и погружается в БВОТ как собранный блок.

Облученные компоненты подаются вертикально в верхнюю часть УУИР. Устройство измельчает, а затем разрезает компонент до получения требуемой длины. Обработанное оборудование попадает непосредственно на технологический контейнер.

При переработке ОРС в БВОТ высвобождается весьма малое количество бора. ОРС сначала подвергают обжатия для удержания труб с бором, а последующая операция резки приводит к складыванию металлических труб по материалу В₄С во время каждой резки. Высвобождающиеся твердые частицы захватываются в подводную вакуумную систему, предоставляемую энергокомпанией.

УУИР обеспечивает переработку самого разнообразного оборудования реактора, такого как ОРС, МЛУМ, проходные каналы, поглощающие перегородки и различную другую оснастку.

б) Пресс для демонтажа стеллитных вкладышей

Пресс для демонтажа стеллитных вкладышей (см. рис. 32) представляет собой гидравлическое режущее устройство с водой в качестве рабочей среды, которое удаляет стеллитный вкладыш

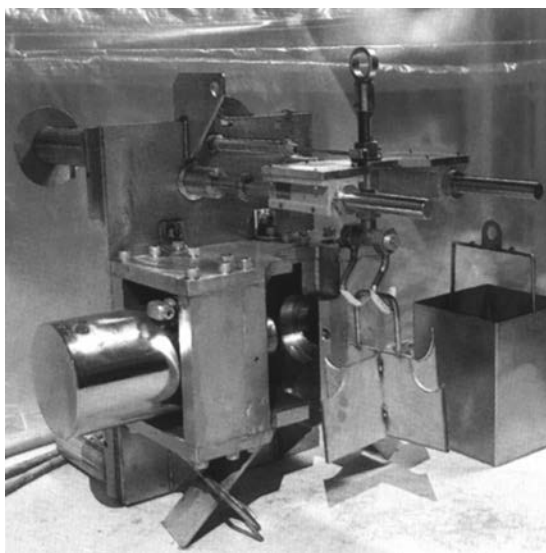


РИС. 32. Пресс для демонтажа стеллитных вкладышей (с разрешения компании «Энерджи солюшенз»).

и стержень как единое целое перед переработкой оставшейся части ОРС. Во время работы пресс вывешивается с бордюра бассейна с помощью жесткого опорного узла и резервного предохранительного троса.

Режущая матрица диаметром 76,2 мм (3 дюйма) крепится к гидроцилиндру. Цилиндр приводится в действие автономным гидравлическим силовым агрегатом с пневмоприводом, расположенным на полу перегрузочной площадки. В силовом агрегате в качестве рабочей жидкости гидросистемы используется деминерализованная вода, и он способен создавать на режущих поверхностях усилие до 36 т.

Благодаря электрополировке поверхностей работы по дезактивации пресса для демонтажа стеллитных вкладышей сводятся к минимуму. Кроме того, режущую матрицу можно демонтировать и поместить в защитный кожух для оборудования, с тем чтобы удовлетворялись требования ALARA (обеспечение разумно достижимого низкого уровня) и требования к транспортировке.

с) Устройство для обжатия оболочек регулирующих стержней

Устройство для обжатия ОРС с гидравлическим приводом на деминерализованной воде используется для обжатия тонкостенных труб ОРС перед переработкой (см. рис. 33). Каждое ребро корпуса ОРС обжимается в нескольких местах, с тем чтобы трубы с В₄С оставались неповрежденными во время переработки. Процесс обжатия обычно выполняется во время процесса демонтажа стеллитных вкладышей. Система обжимного устройства поставляется в комплекте с прессом для демонтажа стеллитных вкладышей.

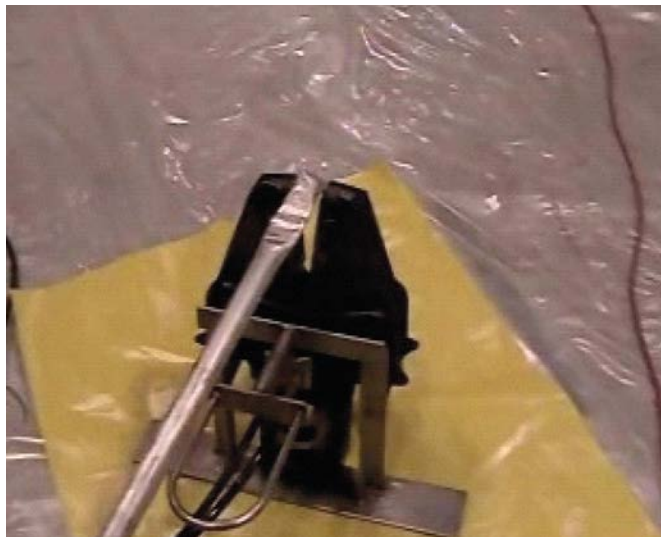


РИС. 33. Устройство для обжатия ОРС (с разрешения компании «Энерджи солюшенз»).

d) Резак мониторов локального уровня мощности

Резак МЛУМ представляет собой режущую головку с гидравлическим приводом, которая используется для сегментации МЛУМ и сухих труб на отрезки, приемлемые для упаковки (см. рис. 34). В качестве рабочей среды гидросистемы в резаке МЛУМ используется деминерализованная вода.

Резак управляется дистанционно и использует для сегментирования секций труб неподвижную опору и подвижное лезвие. Во время работы резак МЛУМ вывешивается с бордюра БВОТ с помощью кронштейна для крепления на бордюр. Для соединения резака с кронштейном крепления на бордюр используются удлинительные стойки из нержавеющей стали.



РИС. 34. Резак МЛУМ (с разрешения компании «Энерджи солишенз»).

Давление, необходимое для работы режущей головки, обеспечивает автономный гидравлический силовой агрегат с пневматическим приводом. Силовой агрегат поставляется с гидравлическими шлангами и соединениями для деминерализованной воды и технологического воздуха.

е) Упаковочное оборудование

Инструменты для манипулирования и упаковки облученного оборудования включают:

- рейферы с пневматическим приводом;
- удлинительные инструменты с ручным и пневматическим управлением;
- гаечные ключи с дистанционным управлением;
- подводные светильники и системы камер.

Эти инструменты предназначены для использования при упаковке материалов уменьшенного объема с минимальным облучением персонала. Отходы помещаются в один из нескольких видов контейнеров для отходов, расположенных в транспортных защитных экранах или контейнерах (флягах). Инструменты и один конкретный пример контейнера для отходов показаны на рис. 35.

6.1.2.3. Преимущества данной системы

- Система надежна.
- Обеспечиваются стабильные значения уменьшения объема.
- Система соответствует требованиям или превышает требования в отношении: тяжелых нагрузок (соответствие требованиям Американского национального института стандартов и NUREG 0612), исключения посторонних материалов (контролирует материал в БВОТ) и воднохимического режима бассейна (в системе используется деминерализованная вода).
- Обеспечивается сокращение затрат на захоронение и хранение отходов.
- Возможна эксплуатация в дистанционном режиме.
- Там, где это целесообразно, в конструкцию включено использование экранирования.
- После каждой кампании режущие поверхности заменяются ввиду износа и уровней создаваемого облучения.



Рис. 35. Инструменты для дистанционного проведения работ под водой (слева) и контейнер для облученного оборудования (справа) (с разрешения компании «Энерджи солюшенз»).

6.1.2.4. Ограничения данной системы

- Система УУИР была разработана специально для сокращения объема ОРС, поступающих с АЭС с реакторами BWR компании «Дженерал электрик». Поэтому с помощью данной системы не могут перерабатываться предметы диаметром более 25 см.
- Толщина перерабатываемого в системе материала не должна превышать 12,5 мм.

6.1.2.5. Основные соображения при выборе

В таблице 19 приведены основные соображения при выборе систем уменьшения объема и упаковки активированных компонентов.

ТАБЛИЦА 19. ОСНОВНЫЕ СООБРАЖЕНИЯ ПРИ ВЫБОРЕ СИСТЕМ УМЕНЬШЕНИЯ ОБЪЕМА И УПАКОВКИ АКТИВИРОВАННЫХ КОМПОНЕНТОВ

| Рассматриваемый параметр | Описание |
|---|---|
| Характеристики поступающих и исходных отходов (объем, вид, активность, форма) | <ul style="list-style-type: none"> — Типы или характеристики потоков отходов, наиболее часто связанных с переработкой облученного оборудования в бассейне для топлива, обычно подразумевают очень высокие дозы излучения и хранение под водой в БВОТ на ядерных реакторных установках. — Физическое описание типов форм отходов включает: ОРС, внутрореакторную аппаратуру, фильтры, сухие трубы, траверсы эжектора, фильтры, стеллитные вкладыши и другую различную оснастку, а также радиоактивные источники. |
| Характеристики вторичных отходов, образующихся в технологическом процессе (объем, вид, активность, форма) | <p>Вторичными отходами, образующимися в результате технологического процесса, обычно являются только фильтры. Объем и активность сильно варьируются в зависимости от количества переработанной оснастки и качества воды в БВОТ. Другие вторичные отходы связаны с мерами радиационной защиты (защитная одежда, средства для дезактивации).</p> |
| Характеристики окончательной формы отходов (тип контейнера, активность, форма) | <ul style="list-style-type: none"> — Окончательная форма отходов обычно представляет собой спрессованный или измельченный металл средней плотности или сегментированный металл. — Значения коэффициента уменьшения объема зависят от типа отходов и зачастую могут находиться в диапазоне от 3 до 5. |

ТАБЛИЦА 19. ОСНОВНЫЕ СООБРАЖЕНИЯ ПРИ ВЫБОРЕ СИСТЕМ УМЕНЬШЕНИЯ ОБЪЕМА И УПАКОВКИ АКТИВИРОВАННЫХ КОМПОНЕНТОВ (продолж.)

| Рассматриваемый параметр | Описание |
|--|--|
| Нормативно-правовые соображения (национальные, местные, международные, связанные с лицензированием, эксплуатацией, перемещением и транспортировкой отходов) | <ul style="list-style-type: none"> — Требования к транспортировке загрязненного оборудования; — требования в отношении характеристики и классификации отходов. |
| Требования к транспортировке (эксплуатация системы, транспортировка отходов, подъездные дороги) | Транспортируется в автономном контейнере для ОПРЗ или контейнере типа 7А размерами ~3 м × 1 м × 1 м. |
| Режим использования: периодическая или непрерывная переработка (система, вторичные отходы) | Обычно кампании (периодическая переработка). |
| Расходы: контрактные договоренности (аренда/закупки); периодическая (месяц/год/кампания/объем) установка; расходные материалы; персонал; удаление и утилизация оборудования; транспортировка; окончательная утилизация отходов | Мобильное оборудование для подводной сегментации и переработки обычно стоит дорого и было специально приспособлено для подводной работы в бассейне для топлива в условиях высоких доз излучения. Оно требует значительных денежных инвестиций для строительства и содержания, и поэтому, как правило, сдается в аренду для конкретной кампании. Кроме того, данное оборудование должно быть дополнено другими контейнерами или флягами для перевозки высокоактивных материалов, также приспособленных для выполнения операций под водой (включая загрузку и выгрузку). Закупки такого типа оборудования также возможны, однако происходят очень редко. |
| Конфигурация системы (мобильная или смонтированная на салазках) | <ul style="list-style-type: none"> — Мобильная или смонтированная на салазках; — устанавливается как можно ближе к БВОТ или в нем, или в зоне приемки; — ожидаемое время наладки в диапазоне от 1 до 2 недель. |
| Занимаемая площадь или физический размер мобильной системы (максимальные размеры, пространство для обращения с технологическими средами/замены/ремонта) | <ul style="list-style-type: none"> — Площадь, занимаемая в бассейне конкретными компонентами, варьируется от 1 м или менее длины бордюра (подвесные инструменты) до участка 3 м × 3 м на полу бассейна. — Для салазок с блоками управления требуется дополнительная площадка 4 м × 4 м рядом с бассейном. — Пресс для демонтажа стеллитных вкладышей: ~0,3 м × 0,66 м × 0,3 м. — Резак МЛУМ: ~0,3 м × 0,3 м × 1,8 м. |
| Общая масса (для определения нагрузки на пол и перемещения) | <ul style="list-style-type: none"> — Система УУИР для работы в бассейне: <4100 кг. — Пресс для демонтажа стеллитных вкладышей: <340 кг. — Резак МЛУМ: <295 кг. |

ТАБЛИЦА 19. ОСНОВНЫЕ СООБРАЖЕНИЯ ПРИ ВЫБОРЕ СИСТЕМ УМЕНЬШЕНИЯ ОБЪЕМА И УПАКОВКИ АКТИВИРОВАННЫХ КОМПОНЕНТОВ (продолж.)

| Рассматриваемый параметр | Описание |
|---|---|
| Кадровые ресурсы (численность, нанимаемый по контракту персонал, техническая квалификация, операции, физическая безопасность, техническое обслуживание) | <ul style="list-style-type: none"> — Персонал системы для проведения подводных работ с облученным оборудованием в бассейне для топлива, как правило, состоит только из высококвалифицированного оператора-специалиста по манипулированию с материалами, который загружает и выгружает облученные компоненты, а также ведущего оператора системы, который управляет оборудованием. — Помимо навыков управления системой и обеспечения промышленной безопасности, обычно требуется специальная подготовка по работе в условиях высоких мощностей дозы. — Что касается технического обслуживания, то для поддержания работы системы необходимы навыки работы с гидравлическими и другими механическими системами. |
| Максимальная или оптимальная пропускная способность и производительность, а также уменьшение объема | <ul style="list-style-type: none"> — Скорость переработки зависит от конкретного компонента оборудования и эксплуатационных ограничений. — УУИР обеспечивает переработку компонентов практически любой длины диаметром до 254 мм или квадратного сечения 228 x 228 мм. — Силовой агрегат УУИР развивает усилие 100 т как на упорном стержне устройства для измельчения, так и на режущем лезвии. — Значения коэффициента уменьшения объема зависят от типа отходов и зачастую могут находиться в диапазоне от 3 до 5. |
| Потребности в помещениях (зона хранения расходных материалов, складирования и хранения отходов) | Потребности в помещениях для расходных материалов минимальны. Площадь складирования контейнеров с отходами до и после переработки обычно составляет 15–30 м ² . |
| Перечень расходных материалов, необходимых для технологического процесса (технологические среды, контейнеры, детали, химреагенты) | Картриджные фильтрующие среды для системы улавливания частиц. |
| Общие требования к технологическому обеспечению (воздух, вода, пар, электроснабжение, вентиляция) | <ul style="list-style-type: none"> — Электроснабжение: 480 В перем. тока, трехфазное, 50 А; 120 В перем. тока, 20 А, однофазное (система может быть модифицирована для работы в сети 380 В перем. тока, 50 Гц). — Технический воздух: давление не менее 0,7 МПа. — Вода: деминерализованная вода, <400 л. — Вентиляция: дополнительной вентиляционной системы, помимо имеющихся на предприятии, не требуется. |
| Погрузочно-разгрузочное оборудование, необходимое для размещения, эксплуатации, а также манипулирования с отходами и их упаковки (краны, вилочные погрузчики, грузоподъемность) | Оборудование загружается и помещается в топливный бассейн с помощью мостового крана на установке (не входит в состав оборудования мобильной системы). Отходы загружаются в оборудование и удаляются из него с помощью мостового подъемного устройства и крана. Вилочные погрузчики часто используются для транспортировки поступающих бочек к системе и переупаковки бочек из нее. |

ТАБЛИЦА 19. ОСНОВНЫЕ СООБРАЖЕНИЯ ПРИ ВЫБОРЕ СИСТЕМ УМЕНЬШЕНИЯ ОБЪЕМА И УПАКОВКИ АКТИВИРОВАННЫХ КОМПОНЕНТОВ (продолж.)

| Рассматриваемый параметр | Описание |
|---|---|
| Общие требования промышленной и радиационной безопасности (барьеры, защита органов дыхания, дозиметрический контроль персонала, меры контроля радиоактивного загрязнения, мониторинг воздуха) | <ul style="list-style-type: none"> — Общие требования по защите персонала при эксплуатации включают использование стандартной одежды для работников, работающих с излучением, дозиметрический контроль и меры промышленной безопасности (например, защитные очки, защитная обувь). — Обычно защита органов дыхания не требуется, за исключением редких случаев дезактивации оборудования. |

Примечание: БВОТ — бассейн выдержки отработавшего топлива; ОРС — оболочка регулирующего стержня; МЛУМ — монитор локального уровня мощности; УУИР — усовершенствованное устройство измельчения и резки.

6.1.3. Остекловывание грунта на месте

6.1.3.1. Описание типичной системы

Остекловывание на месте (ОНМ) — это коммерчески доступный мобильный процесс термической обработки, который включает в себя электрическое плавление загрязненных грунтов, осадков или других материалов, отходов и мусора с целью постоянного уничтожения, удаления или иммобилизации опасных и радиоактивных загрязнителей [34, 35]. Этот процесс может широко применяться ко всем типам грунтов и всем классам загрязняющих веществ, включая органику, тяжелые металлы и радионуклиды. Процесс ОНМ — это периодический процесс, который включает в себя формирование между системой электродов объема расплавленного грунта под поверхностью зоны обработки (см. рис. 36 и 37).

Расплавленный грунт служит нагревательным элементом процесса, в котором электрическая энергия преобразуется в тепло путем джоулевского нагрева при прохождении электрического тока через расплавленный грунт. Температура расплава при ОНМ, как правило, находится в

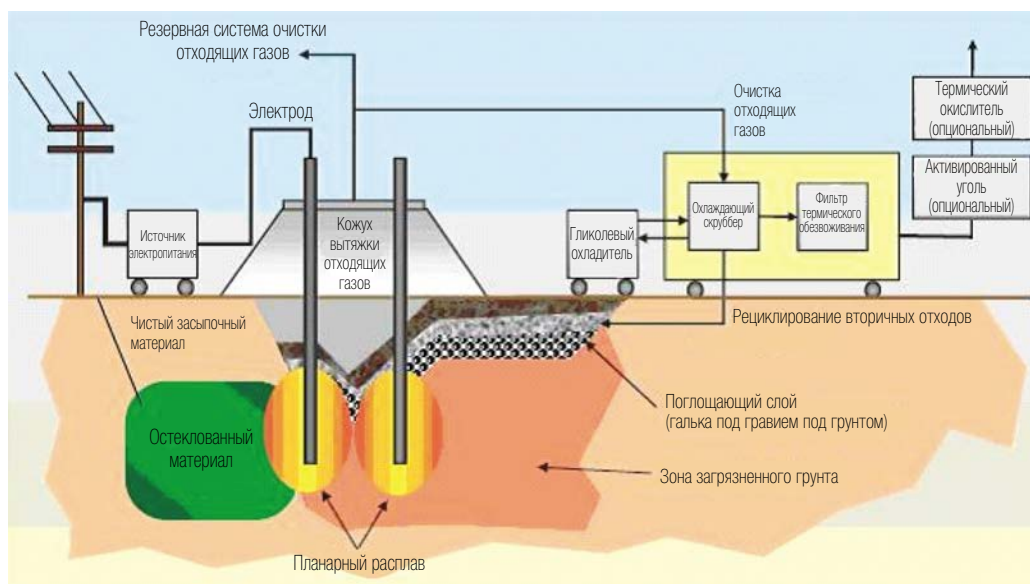


РИС. 36. Технологическая схема процесса ОНМ.



Рис. 37. Фотография остеклованного монолита, полученного в результате использования процесса ОНМ (изображение из [34]).

диапазоне от 1500°C до 2000°C. Дальнейшая подача энергии приводит к тому, что бассейн расплава становится глубже и шире, пока не будет обработан нужный объем. При отключении электропитания расплавленная масса затвердевает, превращаясь в стекловидный монолит с непревзойденными физическими, химическими и атмосферными свойствами по сравнению с альтернативными технологиями отверждения и стабилизации. В ходе операций промышленных масштабов образуются отдельные расплавы глубиной до 7 м и диаметром до 15 м. Большие объемы загрязненного материала, для которого требуется более одного цикла плавления, обрабатываются путем создания ряда смежных расплавленных зон, в результате чего образуется один массивный непрерывный монолит. Процесс осуществляется круглосуточно, и могут достигаться скорости обработки до 150 т/сут.

6.1.3.2. Описание отдельных компонентов и элементов

Система обработки ОНМ состоит из трансформатора электропитания, вытяжного кожуха сбора отходящих газов, системы обработки отходящих газов и системы управления технологическим процессом. Все оборудование монтируется на прицепе, за исключением вытяжного кожуха, который транспортируется на площадку и затем собирается. Кожух вытяжки отходящих газов используется для сбора газов, выделяющихся в зоне обработки, и для поддержки графитовых электродов, используемых в процессе плавления. Кожух имеет куполообразную конструкцию, которая полностью закрывает обрабатываемую зону. В кожухе вытяжки отходящих газов поддерживается низкий уровень вакуума с целью локализации отходящих газов, которые затем направляются в систему очистки отходящих газов. Система очистки отходящих газов состоит из охладителя, скруббера, влагоуловителя, нагревателя, фильтра для улавливания твердых частиц, адсорбера с активированным углем, вентилятора и опционального термического окислительного блока. Отходящие газы обрабатываются гасителем, снижающим их температуру, и скруббером, удаляющим кислотные газы и крупные твердые частицы. Затем они обезвоживаются и повторно разогреваются, чтобы предотвратить увлажнение фильтров твердых частиц. Далее они фильтруются с целью удаления мелких твердых частиц, а затем подвергаются финишной обработке для удаления микроорганических примесей с помощью адсорберов с активированным углем или в блоке термического окисления. Электрический силовой трансформатор обеспечивает подачу на электроды двухфазного электропитания переменного тока соответствующего напряжения и

силы тока. Мониторинг всей системы ОНМ осуществляется из помещения пульта управления, где ведутся отслеживание и мониторинг энергопотребления электродов, температуры отходящих газов, вакуума в кожухе и других параметров системы.

Имеется информация о модификации этого метода на основе обычного метода ОНМ и использования, по сути, таких же средств управления системой энергоснабжения и очистки отходящих газов. При «планарном» плавлении используются стартовые пути, по которым проводится инжектирование через ряд близко расположенных отверстий, пробуренных или пробитых вдоль зоны, подлежащей обработке, — в плоскостях по обе стороны от отходов или выше и ниже отходов — и двум расплавам дают возможность сойтись. Так как планарное плавление обычно выполняется ниже поверхности, такой подход позволяет обработать более глубокие зоны без более высоких требований к мощности. Фактически же, нерасплавленный грунт над зоной обработки выступает в качестве теплоизоляционного материала, экономя энергию на глубине расплава и обеспечивая значительное снижение температуры оборудования на поверхности. Планарное плавление может применяться с боковых сторон подземных резервуаров и идеально подходит для узких зон обработки, таких как траншеи.

6.1.3.3. Преимущества данной системы

- Захоронение на месте;
- может применяться в отношении как радиоактивных, так и обычных опасных материалов;
- низкий уровень облучения персонала;
- матрица отходов (стекло) имеет очень низкую скорость выщелачивания;
- легкость дезактивации и вывода из эксплуатации.

6.1.3.4. Ограничения данной системы

- Высокая стоимость;
- применение метода ОНМ регулируется сложной нормативно-правовой базой;
- сложная очистка отходящих газов.

6.1.3.5. Основные соображения при выборе

В таблице 20 приведены основные соображения при выборе систем ОНМ.

ТАБЛИЦА 20. ОСНОВНЫЕ СООБРАЖЕНИЯ ПРИ ВЫБОРЕ СИСТЕМ ОНМ

| Рассматриваемый параметр | Описание |
|---|---|
| Характеристики поступающих и исходных отходов (объем, вид, активность, форма) | <ul style="list-style-type: none"> — Радиоактивные грунты (на месте); — активность: ограничения отсутствуют, за исключением элементов, образующих летучие радионуклиды (например, Cs). |
| Характеристики вторичных отходов, образующихся в технологическом процессе (объем, вид, активность, форма) | <ul style="list-style-type: none"> — Жидкости скруббера; — отработанные фильтры; — отходы дезактивации; — твердые отходы могут быть переработаны в последующие расплавы. |
| Характеристики окончательной формы отходов (тип контейнера, активность, форма) | <ul style="list-style-type: none"> — Остеклованные блоки, до 1200 т, диаметр до 12 м, высота до 7 м; — активность не ограничивается, так как данная форма обычно в 5–100 раз прочнее боросиликатных стекол. |

ТАБЛИЦА 20. ОСНОВНЫЕ СООБРАЖЕНИЯ ПРИ ВЫБОРЕ СИСТЕМ ОНМ (продолж.)

| Рассматриваемый параметр | Описание |
|--|--|
| Нормативные и правовые соображения (национальное, местное, лицензирование, эксплуатация, перемещение и транспортировка отходов) | При транспортировке, эксплуатации, мониторинге эффлюентов, контроле и захоронении отходов могут применяться местные, региональные и национальные правила. |
| Требования к транспортировке (эксплуатация системы, транспортировка отходов, подъездные дороги) | Четыре прицепа и подъемное оборудование. |
| Режим использования: периодическая или непрерывная переработка (система, вторичные отходы) | Периодическая переработка. |
| Расходы: контрактные договоренности (аренда/закупки); периодическая (месяц/год/кампания/объем) установка; расходные материалы; персонал; удаление и утилизация оборудования; транспортировка; окончательная утилизация отходов | <ul style="list-style-type: none"> — Фиксированные затраты на развертывание в размере 40 000–80 000 долл. США и эксплуатационные расходы в размере 450–900 долл. США/м³ (данные 1990-х годов). — Косвенные расходы, такие как расходы на управление проектами, общее и инженерно-техническое проектирование, выбор поставщиков, поддержку домашнего офиса, подготовку и оплату разрешений, взаимодействие с регулирующими органами, определение характеристик площадки, тестирование возможности обработки, гарантийный залог и непредвиденные расходы не включены в диапазон предполагаемых затрат. — по 2–3 недели на развертывание и свертывание работ. |
| Конфигурация системы (мобильная или смонтированная на салазках) | Одна часть системы мобильная, а другая – смонтирована на салазках. |
| Занимаемая площадь или физический размер мобильной системы (максимальные размеры, пространство для обращения с технологическими средами/замены/ремонта) | <ul style="list-style-type: none"> — >30 м × 12 м; — кожух вытяжки отходящих газов: >150 м². |
| Общая масса (для определения нагрузки на пол и перемещения) | >100 т. |
| Кадровые ресурсы (численность, нанимаемый по контракту персонал, техническая квалификация, операции, физическая безопасность, техническое обслуживание) | Два работника для эксплуатации. |
| Максимальная или оптимальная пропускная способность и производительность, а также уменьшение объема | <ul style="list-style-type: none"> — 3–6 т/ч; — до 1200 т/расплав; — уменьшение объема грунтов от 25% до 50%; до 75% для влажных осадков и горючих отходов. |
| Потребности в помещениях (зона хранения расходных материалов, складирования и хранения отходов) | >150 м ² . |

ТАБЛИЦА 20. ОСНОВНЫЕ СООБРАЖЕНИЯ ПРИ ВЫБОРЕ СИСТЕМ ОНМ (продолж.)

| Рассматриваемый параметр | Описание |
|---|---|
| Перечень расходных материалов, необходимых для технологического процесса (технологические среды, контейнеры, детали, химреагенты) | Для одного цикла: <ul style="list-style-type: none"> — 150 т гравия (многократно используемого); — вода (для скрубберов); — фильтры НЕРА; — электроды. |
| Общие требования к технологическому обеспечению (воздух, вода, пар, электроснабжение, вентиляция) | <ul style="list-style-type: none"> — Энергоснабжение: до 11–13,8 кВ, трехфазное; 900–3500 кВт (0,5–0,8 кВт ч на 1 кг остеклованного материала). — Непитьевая вода. |
| Погрузочно-разгрузочное оборудование, необходимое для размещения, эксплуатации, а также манипулирования с отходами и их упаковки (краны, вилочные погрузчики, грузоподъемность) | Вилочный погрузчик и краны грузоподъемностью 35 т и 125 т. |
| Общие требования промышленной и радиационной безопасности (барьеры, защита органов дыхания, дозиметрический контроль персонала, меры контроля радиоактивного загрязнения, мониторинг воздуха) | <ul style="list-style-type: none"> — Особые требования отсутствуют; — средства радиационного контроля определяются требованиями площадки, в том числе в отношении обследования, барьеров, берм/обваловок и мониторинга эфлюентов. |

Примечание: Фильтр НЕРА — высокоэффективный сухой воздушный фильтр.

6.2. ИЗЪЯТЫЕ ИЗ УПОТРЕБЛЕНИЯ ЗАКРЫТЫЕ ИСТОЧНИКИ

6.2.1. Демонтаж и упаковка изъятых из употребления высокоактивных источников

6.2.1.1. Описание типичной системы

МАГАТЭ предлагает государствам-членам мобильную установку с горячей камерой для кондиционирования изъятых из употребления высокоактивных источников излучения. Устройство можно разобрать в горячей камере, а источник можно извлечь и упаковать. После завершения работ по кондиционированию установка может быть перевезена на другую площадку, где она требуется. Установка используется для обращения с высокоактивными источниками и их кондиционирования в тех государствах-членах, где нет соответствующей инфраструктуры для проведения таких операций [36–38].

Установка состоит из камеры с биологической защитой, оборудованной окном для наблюдения за работами, выполняемыми внутри камеры (см. рис. 38). Для выполнения манипуляций и подъема различных предметов внутри камеры в ней используются копирующие манипуляторы и внутренний кран. Для перемещения тяжелых предметов в камеру и из нее имеется расположенный вне камеры кран. Система вентиляции поддерживает в камере отрицательное давление с целью локализации распространения возможного радиоактивного загрязнения. Контейнер для длительного хранения изъятых из употребления высокоактивных источников стыкуется к боковой стенке камеры с биологической защитой, обеспечивая простое и безопасное перемещение источников из камеры.



РИС. 38. Мобильная горячая камера для кондиционирования высокоактивных герметичных источников.

6.2.1.2. Описание отдельных компонентов и элементов

- a) **Биологическая защита:** она представляет собой стенку камеры, в которой осуществляется обращение с неэкранированными источниками. Она предназначена для защиты от уровней излучения, эквивалентных уровням, одновременно создаваемым источником ^{60}Co с активностью 37 Тбк (1000 Ки). Биологическая защита выполняет роль платформы, на которой смонтированы другие компоненты установки для кондиционирования. Она представляет собой полость с двойными стенками толщиной 1,55 м, заполненную песком в качестве экранирующего материала. Рабочий объём биологической защиты: длина 2,5 м, ширина 1,6 м и высота 3,0 м. Он предоставляет достаточно места для размещения изъятых из употребления высокоактивного экранированного источника высокой активности, позволяя в то же время свободно перемещать манипуляторы. В нем также размещается внутренний кран.
- b) **Рабочее место:** стол по внутренним размерам камеры высотой 800 мм от пола, являющийся рабочей поверхностью. Его высота регулируется для улучшения обзора рабочей зоны.
- c) **Крыша биологической защиты:** Конструкция крыши биологической защиты позволяет ограничить эффект рассеянного облучения сверху до приемлемого уровня. Она также обеспечивает доступ персонала и оборудования. Крыша, по сути, представляет собой крышку, которую необходимо закрыть перед обращением с неэкранированным источником. Крыша состоит из трех железобетонных плит толщиной 23 см с защитой углов из низкоуглеродистой стали и стандартной арматурой.
- d) **Окно:** окно обеспечивает надлежащий обзор, позволяющий персоналу видеть рабочую зону, и защиту, эквивалентную той, которая обеспечивается стенками биологической защиты. Окно представляет собой контейнер, заполненный прозрачной тяжелой жидкостью (50%-ным раствором бромистого цинка) и имеющий прозрачные торцевые панели.
- e) **Копирующие манипуляторы:** это телескопические копирующие манипуляторы, способные поднимать предметы весом до 20 кг.
- f) **Краны:** внутренний кран предназначен для подъема предметов, слишком тяжелых для копирующих манипуляторов, таких как выдвижные контейнеры источников

для дистанционной лучевой терапии или облучателей крови. Это консольный кран, смонтированный на внутренней стенке биологической защиты. Внешний кран — порталного типа, и он оснащен четырьмя большими резиновыми колесами для перемещения по ровным поверхностям.

- г) **Система вентиляции:** все потенциальные источники аэрозольного загрязнения задерживаются НЕРА-фильтрами. Система вентиляции представляет собой автономную систему, состоящую из вентилятора, фильтров предварительной очистки, оснащенных противопожарными элементами, НЕРА-фильтров и вытяжного рукава. Система обеспечивает внутреннее давление в камере, равное 200 Па, и пятикратный воздухообмен в час.
- h) **Экранированный контейнер для долговременного хранения:** экранированный контейнер для долговременного хранения — это контейнер, основанный на существующей конструкции транспортного контейнера и совместимый с ней. Проектный срок службы контейнера для хранения составляет 75 лет. Он также предусматривает защиту, которая позволяет осуществлять манипулирование с этим контейнером без необходимости дальнейшего экранирования.

6.2.1.3. Преимущества данной системы

- Извлечение изъятых из употребления бета/гамма-источников высокой активности из их соответствующих экранирующих корпусов и кондиционирование для долгосрочного безопасного и безопасного хранения.

6.2.1.4. Ограничения данной системы

- В связи с высоким риском облучения при работе с радиоактивными источниками высокой активности операции демонтажа и кондиционирования должны выполняться хорошо обученным местным персоналом или специализированной бригадой, командированной из-за рубежа.
- Защита для долгосрочного хранения источника должна быть сертифицирована в качестве транспортного контейнера, с тем чтобы обеспечить возможность его транспортировки для репатриации или на действующий пункт захоронения, когда это станет возможным без необходимости дальнейшего кондиционирования.

6.2.1.5. Основные соображения при выборе

В таблице 21 приведены основные соображения при выборе систем, предназначенных для демонтажа и упаковки изъятых из употребления источников.

ТАБЛИЦА 21. ОСНОВНЫЕ СООБРАЖЕНИЯ ПРИ ВЫБОРЕ СИСТЕМ, ПРЕДНАЗНАЧЕННЫХ ДЛЯ ДЕМОНТАЖА И УПАКОВКИ ИЗЪЯТЫХ ИЗ УПОТРЕБЛЕНИЯ ИСТОЧНИКОВ

| Рассматриваемый параметр | Описание |
|---|--|
| Характеристики поступающих и исходных отходов (объем, вид, активность, форма) | Изъятые из употребления закрытые высокоактивные источники бета/гамма излучения с активностью до эквивалента 37 ТБк (1000 Ки) источника ⁶⁰ Со. |

ТАБЛИЦА 21. ОСНОВНЫЕ СООБРАЖЕНИЯ ПРИ ВЫБОРЕ СИСТЕМ, ПРЕДНАЗНАЧЕННЫХ ДЛЯ ДЕМОНТАЖА И УПАКОВКИ ИЗЪЯТЫХ ИЗ УПОТРЕБЛЕНИЯ ИСТОЧНИКОВ (продолж.)

| Рассматриваемый параметр | Описание |
|--|---|
| Характеристики вторичных отходов, образующихся в технологическом процессе (объем, вид, активность, форма) | Предполагается, что объем вторичных отходов будет небольшим, за исключением случаев утечки из источника. В случае обнаружения во время демонтажа утечки в любом источнике дальнейший демонтаж продолжен не будет. Блок будет закрыт, и будут приняты дальнейшие меры по помещению головки или блока в специальную наружную упаковку. Эти меры будут приняты МАГАТЭ. |
| Характеристики окончательной формы отходов (тип контейнера, активность, форма) | Кондиционированный источник рассчитан на длительное хранение до 75 лет. |
| Нормативно-правовые соображения (национальные, местные, международные, связанные с лицензированием, эксплуатацией, перемещением и транспортировкой отходов) | <p>Конечный пользователь должен:</p> <ul style="list-style-type: none"> — подготавливать и подавать заявление на получение любой лицензии, допуска или официального разрешения, необходимых для эксплуатации системы кондиционирования; — подготавливать и подавать заявление на получение любой лицензии, допуска или официального разрешения, необходимых для хранения кондиционированных источников на местном пункте хранения; — оказывать помощь в таможенном оформлении всего необходимого оборудования и инструментов; — обеспечивать обращение со всеми радиоактивными и нерадиоактивными материалами, образующимися в результате операции, а также их хранение или захоронение; — определять и осуществлять в ходе операции меры по обеспечению физической безопасности с целью защиты людей и оборудования; — сообщать регулирующему органу о результатах операции после ее завершения. |
| Требования к транспортировке (эксплуатация системы, транспортировка отходов, подъездные дороги) | <ul style="list-style-type: none"> — Перемещение источника к месту проведения операции; — подготовка подъездной дороги к месту проведения операции, обеспечивающей движение без помех больших транспортных средств; — предоставление транспорта для персонала подрядчика. |
| Режим использования: периодическая или непрерывная переработка (система, вторичные отходы) | Периодическая переработка. |
| Расходы: контрактные договоренности (аренда/закупки); периодическая (месяц/год/кампания/объем) установка; расходные материалы; персонал; удаление и утилизация оборудования; транспортировка; окончательная утилизация отходов | Расходы варьируются в зависимости от местных условий, но они покрываются МАГАТЭ. |
| Конфигурация системы (мобильная или смонтированная на салазках) | Смонтированная на салазках, необходимо подготовить железобетонную площадку толщиной 120 мм (7,6 м × 8 м). Она должна быть абсолютно ровной (горизонтальной). |

ТАБЛИЦА 21. ОСНОВНЫЕ СООБРАЖЕНИЯ ПРИ ВЫБОРЕ СИСТЕМ, ПРЕДНАЗНАЧЕННЫХ ДЛЯ ДЕМОНТАЖА И УПАКОВКИ ИЗЪЯТЫХ ИЗ УПОТРЕБЛЕНИЯ ИСТОЧНИКОВ (продолж.)

| Рассматриваемый параметр | Описание |
|---|---|
| Занимаемая площадь или физический размер мобильной системы (максимальные размеры, пространство для обращения с технологическими средами/замены/ремонта) | 15 м × 30 м. |
| Общая масса (для определения нагрузки на пол и перемещения) | 30–40 т. |
| Кадровые ресурсы (численность, нанимаемый по контракту персонал, техническая квалификация, операции, физическая безопасность, техническое обслуживание) | <ul style="list-style-type: none"> — Эксплуатация осуществляется подрядчиком (бригада из пяти работников). — Для оказания помощи подрядчику в сборке и разборке требуется не менее десяти местных работников. — Как минимум два высококвалифицированных специалиста, обученных работе с манипуляторами. |
| Максимальные или оптимальные значения пропускной способности, производительности, коэффициента дезактивации и уменьшения объема | 4–8 источников в день, в зависимости от источника. |
| Потребности в помещениях (зона хранения расходных материалов, складирования и хранения отходов) | 7 м × 15 м. |
| Перечень расходных материалов, необходимых для технологического процесса (технологические среды, контейнеры, детали, химреагенты) | <p>Расходные материалы:</p> <ul style="list-style-type: none"> — Инструменты для демонтажа головок установок для телетерапии, монтажа и демонтажа биологической защиты, а также других общих применений; — сварочные электроды; — 90 м³ непросеянного речного песка для биологической защиты; — баллон с высокочистым (99,999%) газообразным Ar для сварки; — контейнеры для сбора бытовых, а также потенциально радиоактивных отходов (например, контейнеры для мусора). <p>Необходимо предусмотреть дополнительное оборудование:</p> <ul style="list-style-type: none"> — полностью автоматическое сварочное оборудование; — оборудование для проверки герметичности; — оборудование для радиационной защиты; — оборудование для загрузки песка; — транспортный контейнер; — вибраторы; — пылесос. |
| Общие требования к технологическому обеспечению (воздух, вода, пар, электроснабжение, вентиляция) | <ul style="list-style-type: none"> — Водопроводная вода; — трехфазное электроснабжение. |

ТАБЛИЦА 21. ОСНОВНЫЕ СООБРАЖЕНИЯ ПРИ ВЫБОРЕ СИСТЕМ, ПРЕДНАЗНАЧЕННЫХ ДЛЯ ДЕМОНТАЖА И УПАКОВКИ ИЗЪЯТЫХ ИЗ УПОТРЕБЛЕНИЯ ИСТОЧНИКОВ (продолж.)

| Рассматриваемый параметр | Описание |
|---|--|
| Погрузочно-разгрузочное оборудование, необходимое для размещения, эксплуатации, а также манипулирования с отходами и их упаковки (краны, вилочные погрузчики, грузоподъемность) | Кран (грузоподъемность 3–5 т) для перемещения блоков и источников из хранилища источников и контейнеров. |
| Общие требования промышленной и радиационной безопасности (барьеры, защита органов дыхания, дозиметрический контроль персонала, меры контроля радиоактивного загрязнения, мониторинг воздуха) | Защитная одежда персонала и другие меры контроля, определенные принимающей площадкой. |

7. СИСТЕМЫ ХАРАКТЕРИЗАЦИИ ОТХОДОВ

Характеризация отходов является важной деятельностью, которая необходима на каждом этапе обращения с радиоактивными отходами. Она включает определение физических, химических и радиологических свойств отходов для выявления необходимости дальнейшей корректировки, обработки и кондиционирования или пригодности к дальнейшему манипулированию, переработке, хранению или захоронению [39, 40]. Для характеристики необработанных отходов, форм отходов и упаковок отходов имеется широкий спектр методов разрушающего и неразрушающего анализа. В этом разделе приведено краткое описание и основные характеристики неразрушающего анализа с использованием систем гамма-сканирования, которые обычно применяются в мобильной конфигурации для характеристики упаковок отходов. Также доступны мобильные системы, основанные на пассивном и активном нейтронном анализе для определения трансурановых изотопов [41].

7.1. НЕРАЗРУШАЮЩИЙ АНАЛИЗ

7.1.1. Система гамма-сканирования

7.1.1.1. Описание типичной системы

В продаже имеется широкий спектр мобильных систем гамма-сканирования. Типичные устройства состоят из вращающейся детекторной системы или модуля поворотного стола, используемого для вращения упаковок отходов. Гамма-сканер, например томографический гамма-сканер (ТГС), показанный на рис. 39, используется для измерения гамма-излучения, испускаемого изотопами, которые присутствуют в упаковках отходов; обычно представляют интерес изотопы ^{60}Co и ^{137}Cs . Их относительно «легко измерить», и они используются для получения характеристик радиоизотопов, которые «трудно измерить», с помощью метода масштабных коэффициентов [42]. Для полной характеристики радиоактивных отходов зачастую



Рис. 39. Томографический гамма-сканер WM2900 (с разрешения компании «КАНБЕРРА»).

требуется разрушающий анализ, с тем чтобы определить взаимосвязь между простыми для измерения гамма-излучателями и альфа- или бета-излучателями. ТГС является расширенным вариантом более распространенного сегментированного гамма-сканера, что позволяет измерять упаковки отходов, содержащие разнородные отходы.

Доступен другой вариант, основанный на интегральном сканировании объекта. В этой измерительной системе используется менее сложное оборудование (см. рис. 40). Детектор закреплен рядом с анализируемой бочкой и одновременно полностью анализирует излучение отходов, находящихся в бочке.

Имеются аналогичные системы, устанавливаемые в стандартный 6-метровый контейнер ИСО и готовые к транспортировке по маршруту на объект, причем они оснащены всеми электромеханическими приводами, необходимыми для автоматизации процесса (введение бочки, размещение на станции взвешивания, размещение на измерительной станции, удаление бочки) (см. рис. 41).

7.1.1.2. Описание отдельных компонентов и элементов

- Детектор с модулем привода детектора;
- модуль поворотного стола для установки бочки;
- система управления механизмом;
- программное обеспечение и электроника;
- стандартный 6-метровый контейнер ИСО;
- роликовые конвейеры для подачи и удаления бочек;
- автоматическая система позиционирования бочек, управляемая ПЛК;
- станция взвешивания.

7.1.1.3. Преимущества данной системы

- Использование неразрушающего анализа;
- небольшой размер системы;
- ручное или дистанционное управление;



РИС. 40. Мобильная система анализа «ИСО-КАРТ» (с разрешения компании «ОРТЕК»).



РИС. 41. Мобильная система гамма-анализа (с разрешения компании «Нюклеко»).

- возможность использования в сочетании с мобильным оборудованием для уменьшения объема или кондиционирования на месте.

7.1.1.4. Ограничения данной системы

- Ограниченное количество изотопов для измерения, но, в зависимости от особенностей измеряемых отходов, можно использовать детектор с другим диапазоном энергий.

7.1.1.5. Основные соображения при выборе

В таблице 22 приведены основные соображения при выборе систем характеристики отходов методом гамма-анализа.

ТАБЛИЦА 22. ОСНОВНЫЕ СООБРАЖЕНИЯ ПРИ ВЫБОРЕ СИСТЕМ ХАРАКТЕРИЗАЦИИ ОТХОДОВ МЕТОДОМ ГАММА-АНАЛИЗА

| Рассматриваемый параметр | Описание |
|--|--|
| Характеристики поступающих и исходных отходов (объем, вид, активность, форма) | Эта технология применима для жидких и твердых отходов, находящихся в бочках или ящиках или даже в трубах, баллонах, на полах, стенах и в грунтах. |
| Характеристики вторичных отходов, образующихся в технологическом процессе (объем, вид, активность, форма) | Вторичные отходы не ожидаются. |
| Характеристики окончательной формы отходов (тип контейнера, активность, форма) | В процессе измерения форма отходов не изменяется. |
| Нормативно-правовые соображения (национальные, местные, международные, связанные с лицензированием, эксплуатацией, перемещением и транспортировкой отходов) | Специальная лицензия не требуется. |
| Требования к транспортировке (эксплуатация системы, транспортировка отходов, подъездные дороги) | Требуется обычная транспортировка. |
| Режим использования: периодическая или непрерывная переработка (система, вторичные отходы) | Периодическая эксплуатация (анализ отдельных бочек или упаковок отходов) или непрерывная эксплуатация в 6-метровых контейнерах ИСО. |
| Расходы: контрактные договоренности (аренда/закупки); периодическая (месяц/год/кампания/объем) установка; расходные материалы; персонал; удаление и утилизация оборудования; транспортировка; окончательная утилизация отходов | Расходы невелики по сравнению с расходами на транспортировку, необходимую в том случае, когда характеристика производится на стационарной установке по обращению с отходами. |
| Конфигурация системы (мобильная или смонтированная на салазках) | Мобильная или смонтированная на салазках. |

ТАБЛИЦА 22. ОСНОВНЫЕ СООБРАЖЕНИЯ ПРИ ВЫБОРЕ СИСТЕМ ХАРАКТЕРИЗАЦИИ ОТХОДОВ МЕТОДОМ ГАММА-АНАЛИЗА (продолж.)

| Рассматриваемый параметр | Описание |
|---|--|
| Занимаемая площадь или физический размер мобильной системы (максимальные размеры, пространство для обращения с технологическими средами/замены/ремонта) | Различная, ~4–15 м ³ , или размеры стандартного 6-метрового контейнера ИСО. |
| Общая масса (для определения нагрузки на пол и перемещения) | Различная, 500–3000 кг Рв. |
| Кадровые ресурсы (численность, нанимаемый по контракту персонал, техническая квалификация, операции, физическая безопасность, техническое обслуживание) | Требуется один квалифицированный оператор и один специалист для обработки данных. В некоторых случаях один работник может выполнять обе указанные функции. |
| Максимальные или оптимальные значения пропускной способности, производительности, коэффициента дезактивации и уменьшения объема | <ul style="list-style-type: none"> — Как правило, в системах с однократным сканированием продолжительность цикла составляет 10 минут, а в сегментированных сканерах может потребоваться до 1 ч на бочку. — Продолжительность цикла зависит от ряда факторов, в том числе от уровней фонового излучения, материала контейнера и отходов, а также от целевых нижних пороговых значений активности. |
| Потребности в помещениях (зона хранения расходных материалов, складирования и хранения отходов) | Эксплуатация в помещении. |
| Перечень расходных материалов, необходимых для технологического процесса (технологические среды, контейнеры, детали, химреагенты) | Жидкий азот для детекторов. |
| Общие требования к технологическому обеспечению (воздух, вода, пар, электроснабжение, вентиляция) | Низкое напряжение (110/220 В перем. тока). |
| Погрузочно-разгрузочное оборудование, необходимое для размещения, эксплуатации, а также манипулирования с отходами и их упаковки (краны, вилочные погрузчики, грузоподъемность) | Для перемещения бочек могут потребоваться вилочные погрузчики. |
| Общие требования промышленной и радиационной безопасности (барьеры, защита органов дыхания, дозиметрический контроль персонала, меры контроля радиоактивного загрязнения, мониторинг воздуха) | Обычно требуются стандартные средства обеспечения радиационной и промышленной безопасности. |

8. ВЫВОДЫ

В настоящей публикации содержится информация о мобильных системах, которые в последнее время все более широко используются в применениях по переработке радиоактивных отходов. В примерах некоторых технологий, которые чаще всего используются в мобильных применениях, изложены все этапы переработки отходов. Хорошими примерами являются дезактивация, фильтрация и ионный обмен, цементирование, фиксация ионообменных смол в полимерных материалах и суперкомпактирование. Такие системы в настоящее время доступны для приобретения у многих поставщиков или могут создаваться на заказ для удовлетворения конкретных требований. Многие новые мобильные системы, которые были протестированы или развернуты в последние годы, могут стать коммерчески доступными в ближайшем будущем. Примечательно, что в новых проектах атомных электростанций (например, поколение «3+») все более широко используются мобильные системы переработки отходов.

Тенденция к расширению использования мобильных систем обусловлена различными факторами, например:

- устранением необходимости перевозки отходов за пределами площадки путем приближения технологии переработки к месту образования отходов;
- возможностями обращения с отходами в режиме кампаний в случае нескольких установок, на которых образуются аналогичные потоки отходов (например, процесс фиксации отработанной смолы во Франции или иммобилизация изъятых из употребления закрытых радиоактивных источников в Российской Федерации);
- возможностями сборки и испытания этих систем на заводе, их легкого монтажа на площадке и легкой замены или модернизации на основе более передовых методов и процессов;
- возможностями воспользоваться услугами опытных поставщиков при переработке определенных потоков радиоактивных отходов.

Существуют случаи, когда мобильные системы имеют явные преимущества при определенных обстоятельствах, включая:

- a) нестандартные проблемные отходы меньшего объема, которые требуют конкретных решений с использованием комбинации методов;
- b) ситуации аварий и инцидентов, когда системы должны быть развернуты в аварийной ситуации;
- c) ситуации вывода из эксплуатации, когда необходимо создавать новые стационарные ядерные установки, такие как установки по переработке отходов; их следует избегать.

В этой публикации систематически обобщена информация и примеры развернутых мобильных систем переработки для предварительной обработки, обработки, кондиционирования, комбинированной обработки и кондиционирования, а также характеристики отходов. Для того чтобы ощутить реальное применение мобильных систем, приведены различные примеры мобильной переработки потоков твердых, жидких, газообразных и многофазных отходов. В каждом примере информация включает описание типичной системы и компонентов, а также конкретных преимуществ и ограничений системы. Ключевые факторы, которые необходимо учитывать при оценке применимости мобильной системы, представлены для каждого примера в стандартизированной табличной форме.

Решение использовать мобильные системы по сравнению со стационарными системами на площадке или за ее пределами требует итеративного подхода для выбора подходящего варианта переработки для конкретного применения, определения того, имеет ли мобильная система преимущества перед стационарной установкой, и для определения возможности ее развертывания.

Предлагается методология оценки применимости мобильной системы переработки отходов и процесса принятия решений в отношении выбора применимой системы. Она иллюстрирует два отдельных этапа проведения итеративной оценки. Этап 1 включает в себя оценку всех соответствующих нетехнических и технических факторов, включая цели переработки, нормативную базу, требования безопасности, характеристики потока отходов, выбор и отбраковку технологий, правила перевозки, проектные и эксплуатационные требования и пределы, а также стоимость. В таблицах для каждого примера в данной публикации представлены данные для предварительного технического отбора мобильных систем-кандидатов, с тем чтобы помочь определить, является ли такая система жизнеспособной альтернативой для внедрения. Этап 2 включает подробный технический отбор, за которым следует тщательный экономический анализ для того, чтобы полностью обосновать внедрение мобильной системы весомыми техническими и финансовыми аргументами. С целью иллюстрации основных типов данных и содержания, необходимых для детального технико-экономического анализа, в приложениях I и II представлена подробная техническая информация по двум широко используемым мобильным применениям.

При подготовке настоящей публикации использовались многочисленные источники информации, включая публикации МАГАТЭ и международную группу экспертов по обращению с радиоактивными отходами. Кроме того, в качестве консультативных материалов также использовались другие признанные отраслевые доклады и стандарты.

Настоящая публикация предназначена главным образом для специалистов по обращению с отходами, ответственных за выбор, проектирование и внедрение систем переработки отходов с целью использования преимуществ существующих и новых мобильных систем. Она также может быть полезной для регулирующих органов, ответственных за рассмотрение и лицензирование мобильных систем переработки отходов и возможных двухсторонних соглашений, касающихся совместного использования таких систем.

СПРАВОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

- [1] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Политика и стратегии обращения с радиоактивными отходами, Серия изданий МАГАТЭ по ядерной энергии № NW-G-1.1, МАГАТЭ, Вена (2012).
- [2] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Application of Thermal Technologies for Processing of Radioactive Waste, IAEA-TECDOC-1527, IAEA, Vienna (2006).
- [3] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Innovative Waste Treatment and Conditioning Technologies at Nuclear Power Plants, IAEA-TECDOC-1504, IAEA, Vienna (2006).
- [4] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Review of the Factors Affecting the Selection and Implementation of Waste Management Technologies, IAEA-TECDOC-1096, IAEA, Vienna (1999).
- [5] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Status of Technology for Volume Reduction and Treatment of Low and Intermediate Level Solid Radioactive Waste, Technical Reports Series No. 360, IAEA, Vienna (1994).
- [6] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Treatment and Conditioning of Radioactive Organic Liquids, IAEA-TECDOC-656, IAEA, Vienna (1992).
- [7] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Treatment and Conditioning of Radioactive Solid Wastes, IAEA-TECDOC-655, IAEA, Vienna (1992).
- [8] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Options for the Treatment and Solidification of Organic Radioactive Wastes, Technical Reports Series No. 294, IAEA, Vienna (1989).
- [9] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Techniques and Practices for Pretreatment of Low and Intermediate Level Solid and Liquid Radioactive Wastes, Technical Reports Series No. 272, IAEA, Vienna (1987).
- [10] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Treatment of Low- and Intermediate-level Liquid Radioactive Wastes, Technical Reports Series No. 236, IAEA, Vienna (1984).
- [11] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Обращение с радиоактивными отходами перед захоронением, Серия норм безопасности МАГАТЭ, № GSR Part 5, МАГАТЭ, Вена (2010).
- [12] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Правила безопасной перевозки радиоактивных материалов: издание 2012 года, Серия норм безопасности МАГАТЭ, № SSR-6, МАГАТЭ, Вена (2013).
- [13] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Классификация радиоактивных отходов, Серия норм МАГАТЭ по безопасности, № GSG-1, МАГАТЭ, Вена (2014).
- [14] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Обращение с радиоактивными отходами низкого и среднего уровня активности перед их захоронением, Серия норм безопасности МАГАТЭ, № WS-G-2.5, МАГАТЭ, Вена (2005).
- [15] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Обращение с радиоактивными отходами высокого уровня активности перед их захоронением, Серия норм безопасности, № WS-G-2.6, МАГАТЭ, Вена (2005).
- [16] AMERICAN NUCLEAR SOCIETY, American National Standard: Mobile Low-Level Radioactive Waste Processing Systems, ANSI/ANS-40.37-2009, ANS, La Grange Park, IL (2009).
- [17] ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE, ANP LLW Management Review: Mobile Processing and Treatment Systems, EPRI, Palo Alto, CA (2005).
- [18] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Глоссарий МАГАТЭ по вопросам безопасности: терминология, используемая в области ядерной безопасности и радиационной защиты, издание 2007 года, МАГАТЭ, Вена (2008).
- [19] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Categorizing Operational Radioactive Wastes, IAEA-TECDOC-1538, IAEA, Vienna (2007).
- [20] KRASZNAI, J.P., "Radioactive oil decontamination development: An overview", Proc. 12th Int. Conf. on Environ. Remediat. & Radioact. Waste Manag., Liverpool, 2009, Paper No. ICEM2009-16251, ASME, New York (2009) 177–183.
- [21] SAMANTA, S.K., RAMASWAMY, M., MISRA, B.M., Studies on cesium uptake by phenolic resins, Separ. Sci. Technol. 27 2 (1992) 255–267.
- [22] OZARDE, P.D., SAMANTA, S.K., RAJ, K., "Management of intermediate level wastes from past reprocessing using Cs-specific resorcinol formaldehyde", Issues and Trends in Radioactive Waste Management (Proc. Int. Conf. Vienna, 2002), IAEA-CN-90/51, IAEA, Vienna (2002) 267–271.
- [23] SREENIVAS, V., SAMANTA, S.K., PUSHPARAJA, RAJ, K., Operational radiation hazards control experience during treatment of intermediate level waste, Radiat. Prot. Environ. 24 1&2 (2001) 475–480.

- [24] BANERJEE, D., SAMANTA, S.K., “Process chemistry and resin performance in the treatment of alkaline intermediate level reprocessing waste by selective ion exchange”, Proc. 14th Ann. Conf. of Indian Nuclear Society, Kalpakkam, India, 2003, Indira Gandhi Centre for Atomic Research, Kalpakkam (2003).
- [25] KARLIN, Y., et al., “Management of liquid radioactive waste from non-power applications at MosNPO ‘Radon’”, Management of Radioactive Waste from Non-Power Applications: Sharing the Experience (Proc. Int. Conf. Malta, 2001), IAEA-CN-87/68P, IAEA, Vienna (2001) 431–435.
- [26] KARLIN, Y., DMITRIEV, S., ILJIN, V., OJOVAN, M., BURCL, R., “Elaboration of not large mobile modular installation ‘Aqua-Express’ (300 L/h) for LRW cleaning”, Proc. WM’03 CONF. Tucson, AZ, 2003 (2003).
- [27] TUSA, E., HARJULA, R., YARNELL, P., “Fifteen years of operation with inorganic highly selective ion exchange materials”, Proc. WM’07 CONF. Tucson, AZ, 2007 (2007).
- [28] Sobolev, I.A., et al., Mobile unit for enclosing hot solid waste in a metal matrix, Atomic Energy 74 6 (1993) 499–501.
- [29] Ojovan, M.I., et al., Safety assessment of bore-hole repositories for sealed radiation sources disposal, Mat. Res. Soc. Proc. 608 (2000) 141–146.
- [30] OJOVAN, M.I., LEE, W.E., SOBOLEV, I.A., KARLINA, O.K., ARUSTAMOV, A.E., “Metal matrix immobilization of sealed radioactive sources for safe storage, transportation and disposal”, Proc. WM’04 CONF. Tucson, AZ, 2004 (2004).
- [31] KARLINA, O., Spent ionizing radiation sources conditioning, Environ. Safety 1 (2007) 38.
- [32] SOCIÉTÉ POUR LE CONDITIONNEMENT DES DÉCHETS ET DES EFFLUENTS INDUSTRIELS, On Site Conditioning: Mobile Machine for Concentrates Encapsulation, SOCODEI, Bagnols-sur-Cèze, France (2010).
- [33] SOCIÉTÉ POUR LE CONDITIONNEMENT DES DÉCHETS ET DES EFFLUENTS INDUSTRIELS, On Site Conditioning: Mobile Machine for Ion Exchangers Embedding, SOCODEI, Bagnols-sur-Cèze, France (2010).
- [34] THOMPSON, L., OMBRELLARO, P., MEGALOS, N., OSBORNE, D., TIMMONS, D., “Final results from the in situ vitrification treatment at Maralinga”, Proc. WM’00 CONF. Tucson, AZ, 2000 (2000).
- [35] FARNSWORTH, R.K., KUHNS, D.J., MICHAEL, D.L., HANSEN, J.E., LOWERY, P.S., “Application of a new in situ vitrification technology for the remediation of underground storage tanks”, Proc. WM’99 CONF. Tucson, AZ, 1999 (1999).
- [36] LIEBENBERG, G.R., AL-MUGHRABI, M., “The development of a mobile hot cell facility for the conditioning of spent high activity radioactive sources (SHARS) – 8436”, Proc. WM’08 CONF. Tucson, AZ, 2008 (2008).
- [37] POTIER, J.-M., AL-MUGHRABI, M., SHARS: A shared solution for risky radioactive sources, Int. At. Energy Agency Bull. 49 1 (2007) 56– 58.
- [38] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Management of Spent High Activity Radioactive Sources (SHARS), IAEA-TECDOC-1301, IAEA, Vienna (2002).
- [39] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Characterization of Radioactive Waste Forms and Packages, Technical Reports Series No. 383, IAEA, Vienna (1997).
- [40] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Strategy and Methodology for Radioactive Waste Characterization, IAEA-TECDOC-1537, IAEA, Vienna (2007).
- [41] CALDWELL, J.T. et al., “High sensitivity imaging passive and active neutron (IPAN) transuranic assay system”, Proc. 14th Ann. ESARDA Symp., Salamanca, Spain, 1992 (1992).
- [42] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Determination and Use of Scaling Factors for Waste Characterization in Nuclear Power Plants, IAEA Nuclear Energy Series No. NW-T-1.18, IAEA, Vienna (2009).

Приложение I

ПРИМЕР ДЕТАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ ПО МОБИЛЬНОЙ СИСТЕМЕ ПЕРЕРАБОТКИ: СУПЕРКОМПАКТИРОВАНИЕ ТВЕРДЫХ ОТХОДОВ

В таблицах I–1 – I–7 представлены типы собираемой в процессе определения применимости информации, которая может использоваться в процессе отбора и для разработки технических спецификаций суперкомпактора.

ТАБЛИЦА I–1. ОБЗОР ТЕХНОЛОГИИ

| Рассматриваемый параметр | Описание или значение(я) |
|---|--|
| Пропускная способность, производительность, коэффициент дезактивации и уменьшение объема | <ul style="list-style-type: none">— Пропускная способность: до десяти 200-литровых бочек в час.— Производительность: в диапазоне 750–2200 т.— Коэффициенты сокращения объема: до 10, в зависимости от типа отходов. |
| Характеристики поступающих отходов (активность, форма) | <ul style="list-style-type: none">— 200-литровые бочки с материалами отходов;— мощности дозы до 15 мГр/ч (более высокая мощность дозы потребует экранирования и дистанционного манипулирования);— все виды отходов низкой и средней плотности, компактированные в бочках отходы, асбест и высокоактивные отходы. |
| Характеристики конечных отходов (активность, форма, химический состав) | <ul style="list-style-type: none">— Формы отходов средней–высокой плотности с прессованными бочками;— для локализации активности может потребоваться повторная упаковка шайб. |
| Критерии приемлемости конечной формы отходов и ограничения захоронения или хранения отходов | <ul style="list-style-type: none">— Критерии приемлемости отходов отдельных государств или регулирующих органов;— компактирование — это широко распространенный процесс уменьшения объема, и в большинстве случаев результаты его применения приняты в качестве подлежащей захоронению формы отходов. |
| Характеристики вторичных отходов, образующихся в результате этого процесса (активность, форма, химический состав) | Жидкости или осадок, образующиеся в процессе компактирования, или пыль, образующаяся при операциях компактирования. Жидкости собираются и перекачиваются в емкости энергокомпании для хранения, а пыль в выпускаемом воздухе отфильтровывается. Конструкция блока обеспечивает удержание образовавшихся в нем жидкостей и воздуха. |
| Потребности во внешней поддержке (оборудование или ресурсы) | Системы суперкомпактирования доступны в конфигурациях с монтажом на салазках или на прицепе. Важно, чтобы установка обеспечивала передачу веса блока и ударных нагрузок, создаваемых при компактировании. Мобильные системы предназначены для передачи нагрузок, однако требуется наличие на площадке жесткой платформы. |

ТАБЛИЦА I–1. ОБЗОР ТЕХНОЛОГИИ (продолж.)

| Рассматриваемый параметр | Описание или значение(я) |
|--|--|
| Штатное расписание (время работы, численность, количество сотрудников, нанятых по контракту, квалификации для выполнения работ, связанных с технологией, операциями, физической безопасностью, техническим обслуживанием) | Оператор системы мобильного блока, оператор системы обращения с материалами и вспомогательный сотрудник по обеспечению радиационной безопасности с неполным рабочим днем. Для проведения ремонта и планового технического обслуживания требуется механик. Требуется минимальная подготовка операторов. |
| Промышленная и радиационная безопасность (барьеры, защита органов дыхания, дозиметрический контроль персонала, меры контроля радиоактивного загрязнения, мониторинг воздуха) | <ul style="list-style-type: none"> — Как правило, в зоне проведения работ по компактированию обеспечивается локализация и вентиляция, с тем чтобы избежать распространения загрязнений. — Мониторинг помещений и непрерывный мониторинг воздуха, при необходимости. — Например, в соответствии с требованиями площадки могут быть необходимы индивидуальные дозиметры и защитная одежда. — При проведении дезактивации и технического обслуживания может потребоваться защита органов дыхания. — Защита в соответствии с требованиями техники безопасности включает в себя средства защиты органов зрения и защитную обувь. |
| Нормативно-правовые соображения (национальные, местные, международные, связанные с лицензированием, эксплуатацией, перемещением и транспортировкой отходов) | Как правило, действие правовых или нормативных процессов не распространяется на суперкомпактирование. Инженерно-технические и связанные с радиационной безопасностью аспекты процесса хорошо известны и стандартизованы и, вероятно, такая система может быть развернута с минимальными задержками, вызванными получением разрешений регулирующих органов. Окончательная форма отходов может диктоваться национальными или местными требованиями. Отходы должны перевозиться в соответствии с национальными и местными правилами. |
| Расходы: контрактные договоренности (аренда/закупки); периодическая (месяц/год/кампания/объем) установка; расходные материалы; персонал; удаление и утилизация оборудования; транспортировка; окончательная утилизация отходов | <ul style="list-style-type: none"> — Системы суперкомпактирования являются дорогостоящими. — Важно провести сравнительную оценку вариантов аренды и закупки. — Рассмотреть возможность совместного использования с другими пользователями для снижения финансовой нагрузки. — Оборудование крупногабаритное и тяжелое, что приводит к высоким затратам на развертывание/свертывание работ и транспортировку. |
| Воздействие на противопожарную защиту и пожарную нагрузку | <ul style="list-style-type: none"> — Обычное использование не создает особых рисков в плане противопожарной защиты. Однако необходимо обеспечить наличие противопожарной защиты. — Следует учитывать опасность возгорания, связанную с оборудованием и переходными процессами. — Прессование отходов с неизвестным содержанием может приводить к экзотермическим реакциям. |

ТАБЛИЦА I–1. ОБЗОР ТЕХНОЛОГИИ (продолж.)

| Рассматриваемый параметр | Описание или значение(я) |
|--|--|
| Новые среды | |
| Годовое количество или объем | Скорость роста перепада давления на фильтрующей среде зависит от отходов и поведения бочки во время компактирования. Конструкция оборудования снижает активность в воздухе. Срок службы блока фильтров с двумя стандартными фильтрами (фильтр предварительной очистки и фильтр НЕРА) должен составлять 2–3 месяца. Для определения необходимости замены следует контролировать производительность, специфическую для данного потока отходов. |
| Пространство для хранения | Обычно пространство 2 м ³ для хранения фильтрующих сред. |
| Новые контейнеры для отходов | |
| Годовое количество или объем | Зависит от объема отходов и включает бочки и наружные упаковки. |
| Пространство для хранения | Может быть различным: 1000 м ³ должно быть достаточно для большинства применений в случае коротких сроков поставки новых контейнеров. |
| Другие расходные материалы | |
| Годовое количество или объем | <ul style="list-style-type: none"> — Масло для гидросистем необходимо собирать и обрабатывать в соответствии с требованиями площадки. — Для некоторых типов компакторов могут потребоваться проставки и прижимные диски. |
| Пространство для хранения | Минимальное. |
| Сбор, складирование и хранение отходов, связанных с технологическим процессом (в год): учитываются полные и находящиеся в эксплуатации контейнеры | |
| Годовое количество или объем | Объемы твердых НАО, подлежащих обработке методом суперкомпактирования, различаются в зависимости от площадки. Могут потребоваться зоны хранения или складирования отходов, ожидающих обработки и шайб/наружных упаковок отходов после обработки. К образующимся НАО относятся, например, вода из уплотненной массы, растворы для дезактивации оборудования и отходы после дезактивации или санитарной обработки персонала. |
| Пространство для хранения | <ul style="list-style-type: none"> — Зависит от площадки, объема, подлежащего обработке, и коэффициента уменьшения объема, достигаемого в ходе процесса. — Перед обработкой жидкие отходы необходимо собирать и хранить в бочках или емкостях. |
| Сводная информация о комплектной системе | |
| Мобильная или устанавливаемая на салазки | Возможны оба варианта. |
| Общие размеры | Для типичной мобильной системы требуется площадка 20 м × 16 м с рабочим периметром 5 м. |

ТАБЛИЦА I–1. ОБЗОР ТЕХНОЛОГИИ (продолж.)

| Рассматриваемый параметр | Описание или значение(я) |
|--------------------------|--|
| Общий объём | Обычно система, устанавливаемая на прицеп, имеет высоту 4,5 м, длину 11,3 м и ширину 2,5 м; компактор: площадь основания ~2 м × 2 м. |
| Общий вес | Масса компактора составляет ~35–60 т, а с прицепом и дополнительным оборудованием может составлять 55–80 т. |

Примечание: фильтр НЕРА — высокоэффективный сухой воздушный фильтр; НАО — низкоактивные отходы.

ТАБЛИЦА I–2. КОМПОНЕНТЫ СИСТЕМЫ

| Отдельные подсистемы и компоненты | Подробные технические данные (характеристики, параметры, значения) | Примечания |
|-----------------------------------|---|---|
| Трубопроводы | <ul style="list-style-type: none"> — Бесшовный трубопровод гидросистемы 50 NB; — номинальное давление: 60 МПа; — длина: ~50 м. | Указаны типичные значения. |
| Клапаны | <ul style="list-style-type: none"> — Клапанная арматура включена в комплект силового агрегата гидросистемы; — включает клапаны управления, регулировки давления и предохранительные клапаны. | Отсутствуют. |
| Органы управления | <ul style="list-style-type: none"> — Органы управления работой компактора и других связанных с ним систем (например, вытяжной вентиляции, дисплеев на ядерных приборах, аварийной сигнализации); — в комплект включено управление системами манипулирования для материалов. | Предусмотрена компьютерная система сбора данных. Имеются органы управления на базе ПЛК с возможностью ручного отключения. В комплект входят системы безопасности. Локальное управление системой манипулирования для материалов с подвесного кнопочного пульта управления. |
| Емкости (фильтр, ионный обмен) | Отсутствуют. | Отсутствуют. |
| Насосы | <ul style="list-style-type: none"> — Нагнетательные масляные насосы гидросистемы: 40 МПа; — центробежный насос для перекачивания НАО: давление на выходе = 0,3 МПа. — трубопровод, 25 NB. | <ul style="list-style-type: none"> — Включены в комплект мобильной системы; — временные подключения к емкости на площадке. |
| Шланги | Шланги высокого давления для гидросистем. | Поставляются как часть гидросистемы. |

ТАБЛИЦА I–2. КОМПОНЕНТЫ СИСТЕМЫ (продолж.)

| Отдельные подсистемы и компоненты | Подробные технические данные (характеристики, параметры, значения) | Примечания |
|---|--|--|
| Емкости (питающая и сборная, для продукции и эфлюентов, химреагентов, смесительная) | 1 м ³ , из нержавеющей стали, для сбора эфлюентов. | Жидкость из емкости для сбора жидкости в мобильной системе перекачивается в бочки на площадке или в емкость для отходов. Трубопровод сбора жидкости мобильной системы можно также напрямую подключить к системам площадки. |
| Вентиляционные каналы | Корпус фильтра с фильтрами предварительной очистки/HEPA, размер 600 мм × 600 мм. | Часть мобильной системы. |
| Прочее | Отсутствуют. | Отсутствуют. |

Примечание: Пользователь должен изменить таблицу в соответствии с требованиями для нескольких компонентов. NB — условный проход; ПЛК — программируемый логический контроллер; НАО — низкоактивные отходы; HEPA — высокоэффективный сухой воздушный фильтр.

ТАБЛИЦА I–3. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СОПРЯЖЕНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ

| Вид услуг | Тип | Подробные технические данные (характеристики, параметры, значения) | Примечания |
|------------------|-------------------------|--|--|
| Электроснабжение | Внешнее электропитание. | 480 В перем. тока, трехфазное, ~300 А; 110/20 В перем. тока, однофазное, 20 А. | — Электропитание компактора и устройств управления гидравлической системой и работой мобильной системы. — В комплект мобильной системы входит полный силовой агрегат. На площадке необходимо только подключение электропитания. — Требования к электропитанию определяются тоннажом. |
| Вода | Техническая вода. | — Используется для очистки; — до 1000 л/сут.; — 0,2–0,3 МПа. | Вода для дезактивации камеры компактора и оборудования, при необходимости. |
| Воздух | Технический воздух. | Не содержит масел и воды. | Отсутствуют. |

ТАБЛИЦА I–3. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СОПРЯЖЕНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ (продолж.)

| Вид услуг | Тип | Подробные технические данные (характеристики, параметры, значения) | Примечания |
|--|--|---|---|
| Питающий трубопровод технологических жидкостей | Отсутствуют. | Отсутствуют. | Отсутствуют. |
| Возвратный(е) трубопровод(ы) жидкости на утилизацию | Отсутствуют. | Отсутствуют. | Отсутствуют. |
| Удаление жидкостей | Удаление воды, образовавшейся после компактирования и дезактивации. | Удаление самотеком через трубопроводы 25–40 NB. | Небольшое количество. |
| Перемещение обработанных отходов (например, спрессованных шайб отходов после компактирования) в контейнер для отходов | Подъемники и вилочные погрузчики для перемещения шайб и контейнеров. | — Вилочный погрузчик или кран грузоподъемностью 2–10 т; — типичный вес шайб: 200–250 кг. | Имеются грейферы для перемещения шайб. |
| Перемещение и передвижение вторичных отходов для вторичной переработки или в контейнер для отходов, сбор, распределение и мониторинг газообразных эффлюентов | — Жидкие отходы; — твердые отходы, такие как уборочные материалы. | — 1 м ³ , слив самотеком в емкость для эффлюентов; — 200-литровые бочки. | — Подключаются к емкости для сбора жидких отходов на площадке; — менее одной бочки в месяц. |
| Вентиляция (отопление, воздухозабор, кондиционирование воздуха) | Контролируемая зона с кондиционированием воздуха. | Как правило, монтируемая на стене система кондиционирования воздуха массой 1 т, зависит от размера помещения. | В определенных случаях может потребоваться отопление. |
| Сбор, распределение и мониторинг газообразных эффлюентов, радиационный мониторинг (мощность дозы, персонал, воздух) | Вытяжная вентиляция камеры компактора. | Система вентиляторов/фильтров с направленным потоком: — отрицательное давление в камере: 50 мм водяного столба; — десятикратный воздухообмен в один час.. | — Необходимо проверять вентиляцию камеры при каждом применении. — Имеются конструкции с релейными органами управления. — Если ожидается наличие мелкодисперсных брызг, необходимо установить перед фильтром влагоуловитель. |

ТАБЛИЦА 1–3. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СОПРЯЖЕНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ (продолж.)

| Вид услуг | Тип | Подробные технические данные (характеристики, параметры, значения) | Примечания |
|---|---|--|--|
| Связь (телефон, Интернет, сбор данных, органы управления) | Управление и связь. | <p>Очистка в комбинированном фильтре предварительной очистки/фильтре НЕРА перед сбросом в атмосферу или в систему на площадке</p> <p>— Программируемый процесс компактирования для постепенного уплотнения различных типов отходов;</p> <p>— телефон в помещении поста управления.</p> | При необходимости может быть обеспечено сопряжение с системой управления установки. |
| Радиационный мониторинг (мощность дозы, персонал, воздух) | <p>—Монитор гамма-излучения в помещении;</p> <p>— прибор непрерывного контроля воздуха;</p> <p>— ТЛД.</p> | <p>— Монитор гамма-излучения на площадке, уровни до 0,01 мкЗв/ч;</p> <p>— ТЛД для мониторинга облучения персонала.</p> | Регулярное наблюдение со стороны персонала службы радиационной защиты и поддержка мероприятий по техническому обслуживанию и дезактивации. |
| Внешние системные и сервисные требования к вспомогательному оборудованию и системам (электропитание, оборудование для смешивания, воздухозабор) | Отсутствуют. | Отсутствуют. | Отсутствуют. |
| Противопожарная защита | Стационарное противопожарное оборудование для тушения возгорания масла гидросистемы. | Локальные огнетушители на базе газообразного CO ₂ . | Предоставляются предприятием на площадке. |
| Прочие разные предметы | Отсутствуют. | Отсутствуют. | Отсутствуют. |

Примечание: NB — условный проход; НЕРА — высокоэффективный сухой воздушный фильтр; ТЛД — термолюминесцентный дозиметр.

ТАБЛИЦА I–4. РАБОЧИЕ ПОМЕЩЕНИЯ

| Рассматриваемый параметр | Подробные технические данные (характеристики, параметры, значения) | Примечания |
|---|---|---|
| Эксплуатация | Рабочее пространство шириной не менее 3 м вокруг мобильной системы. | — Возможность перемещения вокруг бочек и системы обращения с спрессованными шайбами; — управление работой компактора, как правило, осуществляется с пульта управления мобильной системы. |
| Замена фильтрующих сред | — Возможность перемещения в зоне блока фильтров; — работа с фильтрами с использованием подъемного устройства. | Для работы с загрязненными фильтрами, включая их упаковку для перемещения в зону хранения отходов или в контейнер, предусмотрены специальные платформы. |
| Техническое обслуживание | — Регулярное профилактическое обслуживание и ремонт; — замены масла в гидросистеме и фильтров. | — Порядок планового технического обслуживания изложен выше; — техническое обслуживание, связанное с значительным объемом работ, на площадке не проводится. |
| Замена компонентов | Отсутствуют. | Отсутствуют. |
| Перемещение отходов | Периметр шириной 5 м вокруг компактора. | Пространство для перемещения вилочного погрузчика входит в зону, указанную для системы. |
| Трассировка и зазоры для силового кабеля, водопровода, технологического или приборного воздухопровода | Трассировку силовых кабелей, сточного водопровода и вентиляционных каналов следует производить с учетом перемещений материалов и персонала. | Отсутствуют. |
| Барьеры (персонал, физическая безопасность, жидкость, контроль загрязнения) | Барьеры для предотвращения несанкционированного доступа персонала на рабочую площадку. | Отсутствуют. |
| Станции или оборудование для мониторинга в целях обеспечения радиационной защиты; | Конкретные требования в отношении помещений отсутствуют. | Отсутствуют. |

ТАБЛИЦА I–5. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕСА

| Рассматриваемый параметр | Подробные технические данные (характеристики, параметры, значения) | Примечания |
|---|--|--|
| Система переработки (смонтированные на салазках или интегрированные компоненты) | Бетонная опорная платформа компактора размерами 16 м × 5 м. Нагрузка на пол: — по всей площади = 2000 кг/м ² ; — основание компактора = 15 000 кг/м ² . | Отсутствуют. |
| Нестандартное увеличение веса | Отсутствуют. | Отсутствуют. |
| Средства контроля доступа (двери, ворота, ограждения и стены) | Отсутствуют. | Отсутствуют. |
| Защитное экранирование | Отсутствуют. | Для отходов с повышенной активностью может потребоваться защитное экранирование. |
| Общий вес отходов до и после переработки (отходы и контейнеры) | 150–200 кг в бочке. | Отсутствуют. |
| Зона размещения оборудования | 20 м × 16 м. | Периметр 5 м. |

ТАБЛИЦА I–6. СРЕДСТВА ФИЗИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ДОСТУПА

| Рассматриваемый параметр | Подробные технические данные (характеристики, параметры, значения) | Примечания |
|--|---|---|
| Средства контроля доступа | | |
| Двери или ворота | Отсутствуют | Отсутствуют |
| Ограждения или стены | Отсутствуют | Отсутствуют |
| Барьеры для контроля распространения жидкостей и нефиксированного радиоактивного загрязнения | | |
| Бермы/обваловки, бордюры или стены | Локальный барьер вокруг системы | — Барьеры по соображениям радиационной и промышленной безопасности — На некоторых площадках может потребоваться создание берм с целью локализации радиоактивного загрязнения или жидкостей |

ТАБЛИЦА I–7. ПЕРЕМЕЩЕНИЕ ОТХОДОВ И МАТЕРИАЛОВ

| Операция | Оборудование (тип, требования к доступу, вместимость) | Пространство для погрузки и выгрузки | Высота погрузки и выгрузки |
|---|---|---|--|
| Доставка оборудования | <ul style="list-style-type: none"> — Основное оборудование смонтировано на прицепе — Дополнительное оборудование на двух грузовых автомобилях с верхней загрузкой | <ul style="list-style-type: none"> — Пространство на прицепе — Зона хранения 50 м² | <ul style="list-style-type: none"> — Высота платформы грузового автомобиля составляет 2 м — Максимальная высота оборудования обычно составляет 2,5 м |
| Наладка оборудования | <ul style="list-style-type: none"> — Прицеп с верхней загрузкой — Кран грузоподъемностью 10 т на площадке | Необходимы подъездные пути шириной 3 м. | Установка и наладка на бетонной платформе на уровне земли |
| Штатная эксплуатация технологической системы | Вилочный погрузчик, грузоподъемность 2 т, для бокового доступа | Радиус разворота оборудования | Высота подъема оборудования |
| Площадка для размещения оборудования, необходимая для сборки и установки | 20 м × 16 м | Зона 20 м × 10 м | Отсутствуют |
| Доставка и удаление отходов с площадки (транспортный контейнер и отдельные компоненты, такие как оболочки или крышки) | Перемещение бочек с отходами с помощью вилочного погрузчика | В зависимости от требований к вилочному погрузчику, контейнерам и упаковкам | В зависимости от требований к вилочному погрузчику, контейнерам и упаковкам |
| Специальные разрешения на использование дорог или требования в отношении уведомления национальных и местных органов власти (негабаритная ширина, избыточный вес и негабаритные размеры) | <ul style="list-style-type: none"> — Согласно национальным и местным правилам — Необходимо тщательно учитывать вес и размеры транспортируемого груза — Для этого оборудования не ожидается никаких проблем | | |
| Соображения физической безопасности при транспортировке (описание) | Как правило, специальные меры обеспечения физической безопасности не требуются | | |

Примечание: При необходимости пользователь должен изменить сведения о компонентах в таблице.

Приложение II

ПРИМЕР ДЕТАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ ПО МОБИЛЬНОЙ СИСТЕМЕ ПЕРЕРАБОТКИ: ФИЛЬТРАЦИЯ И ИОННЫЙ ОБМЕН

В таблицах II–1 – II–7 представлены типы собираемой в процессе определения применимости информации, которая может использоваться в процессе отбора и для разработки технических спецификаций системы фильтрации и ионного обмена.

ТАБЛИЦА II–1. ОБЗОР ТЕХНОЛОГИИ

| Рассматриваемый параметр | Описание или значение(я) |
|---|--|
| Пропускная способность, производительность, коэффициент дезактивации и уменьшение объема | <ul style="list-style-type: none">— Пропускная способность определяется объемом процесса и требованиями к объему фильтрующего слоя.— Как правило, 10–20 объемов фильтрующего слоя в час. |
| Характеристики поступающих отходов (активность, форма) | <ul style="list-style-type: none">— Технология применяется для широкого спектра объемов водных отходов.— От низкой до высокой концентрации химических примесей.— Типичная проводимость 50–500 мкСм/см, но в случае специальных ионообменных сред возможны более высокие значения.— Активность до нескольких сотен МБк/л, с высокой долей ^{134}Cs и ^{137}Cs.— Жидкие отходы, перекачиваемые насосами к мобильному блоку. |
| Характеристики конечных отходов (активность, форма, химический состав) | <p>Чистая технологическая водосодержащая жидкость, требующая контролируемого удаления сразу же или после дальнейшей обработки:</p> <ul style="list-style-type: none">— очень низкая активность;— pH 6–9. |
| Критерии приемлемости конечной формы отходов и ограничения захоронения или хранения отходов | <ul style="list-style-type: none">— Зависят от местоположения и предполагаемого захоронения;— отработанные ионообменные и фильтрующие среды могут потребовать кондиционирования для обеспечения соблюдения критериев захоронения. |
| Характеристики вторичных отходов, образующихся в результате этого процесса (активность, форма, химический состав) | <ul style="list-style-type: none">— Цилиндрические среды картриджных фильтров: размеры различны (обычно не более 150 мм в диаметре × 760 мм в длину).— Ионообменные среды в виде шариков и порошка в водной суспензии.— Мощность дозы излучения ионообменных сред может быть от очень низкой до высокой (0,1–150 мЗв/ч).— Катионная среда обычно имеет более высокую активность, чем анионная смола (то же самое относится и к некоторым изотопно-селективным средам).— Объемы всех отходов будут варьироваться в зависимости от химических примесей и уровней активности, конфигурации системы, типа среды и желаемого качества эффлюентов. |

ТАБЛИЦА П–1. ОБЗОР ТЕХНОЛОГИИ (продолж.)

| Рассматриваемый параметр | Описание или значение(я) |
|---|--|
| Потребности во внешней поддержке (оборудование или ресурсы) | <ul style="list-style-type: none"> — Обычно не требуется (штатные возможности на ядерной установке); — вторичные твердые отходы требуют обработки и упаковки для получения надлежащей формы конечных отходов; — требуются сменные среды, контейнеры для отходов и транспортировка. |
| Штатное расписание (время работы, численность, количество сотрудников, нанятых по контракту, квалификации для выполнения работ, связанных с технологией, операциями, физической безопасностью, техническим обслуживанием) | <ul style="list-style-type: none"> — Зависит от объема, скорости процесса и требований конкретного применения; — три оператора могут работать с системой сменами по 8 часов, если этого требуют время или объемы. |
| Промышленная и радиационная безопасность (барьеры, защита органов дыхания, дозиметрический контроль персонала, меры контроля радиоактивного загрязнения, мониторинг воздуха) | <ul style="list-style-type: none"> — Необходимо наличие радиационных барьеров вокруг оборудования сопряжения с установкой. — Не должно быть нефиксированного радиоактивного загрязнения. — Как правило, активность, связанная с аэрозольным загрязнением воздуха, отсутствует. — Обычно требуются защитные экраны вокруг фильтров и ионообменных колонн. — Необходимо также проанализировать эффект рассеянного облучения сверху для конкретного применения. |
| Нормативно-правовые соображения (национальные, местные, международные, связанные с лицензированием, эксплуатацией, перемещением и транспортировкой отходов) | <p data-bbox="660 1113 1390 1301">При изготовлении оборудования необходимо учитывать национальные и производственные требования к проектированию и мерам контроля для обеспечения качества. В соответствии с национальными и местными нормативными актами, для жидкостей и вторичных отходов могут быть значительные различия. В соответствии с нормативами могут быть установлены пределы или ограничения в отношении сбросов воды из системы по следующим параметрам:</p> <ul style="list-style-type: none"> — активность; — химические примеси; — интенсивность выбросов; — период выброса (когда может быть сброшена жидкость); — запрет на сброс. <p data-bbox="660 1496 1390 1552">В отношении перевозки вторичных отходов могут действовать требования, связанные с:</p> <ul style="list-style-type: none"> — активностью; — типом упаковки; — использованием экранированных контейнеров (лицензированных, с использованием стали и свинца толщиной 450–600 мм); — видом транспорта (обычно грузовые автомобили); — мощностью дозы при контакте и в целом в зоне. |

ТАБЛИЦА П–1. ОБЗОР ТЕХНОЛОГИИ (продолж.)

| Рассматриваемый параметр | Описание или значение(я) |
|--|--|
| Расходы: контрактные договоренности (аренда/закупка); периодическая (месяц/год/кампания/объем) установка; расходные материалы; персонал; удаление и утилизация оборудования; транспортировка; окончательная утилизация отходов | <p>Аренда (обычно фиксированная ежемесячная плата или плата, основанная на переработанном объеме жидкости) или закупка. Стоимость систем может составлять 50 000–500 000 долл. США. Стоимость зависит от сложности системы:</p> <ul style="list-style-type: none"> — числа корпусов фильтров; — типов фильтрующих сред; — требований к скорости процесса; — конструкционных материалов; — уровня автоматизации; — требований к защитному экранированию; — установки на салазках или автономной установки (с размещением отдельных компонентов на существующем полу). <p>Кроме того:</p> <ul style="list-style-type: none"> — низкая стоимость по сравнению с стационарной установкой; — может быть арендована или эксплуатироваться в рамках периодических кампаний с учетом объема обработки; — требуется обученный и квалифицированный персонал; — специализированные навыки или знания, как правило, не требуются; — необходима техническая, а также связанная с вопросами химии и радиационной безопасности поддержка; — легкость очистки, демонтажа и удаления; — транспортируется на прицепах и грузовых автомобилях. <p>Затраты на замену сред будут варьироваться в зависимости от конструкции системы, характеристик поступающей жидкости, требований к жидким эффлюентам и требований к предварительной обработке, обработке, кондиционированию, транспортировке и утилизации вторичных отходов.</p> |
| Воздействие на противопожарную защиту и пожарную нагрузку | Новые среды могут потребовать анализа пожарной нагрузки (особенно в отношении смолы). |
| Новые среды | |
| Годовое количество или объем | <ul style="list-style-type: none"> — Варьируется от 1 до 30 фильтрующих элементов; — объем смолы может находиться в диапазоне 1–3 м³; — объемы в значительной степени зависят от химического состава и активности входного потока и требований к эффлюентам. |
| Пространство для хранения | Максимум 28 м ³ (площадь пола 3 м × 3 м). |
| Новые контейнеры для отходов | |
| Годовое количество или объем | <ul style="list-style-type: none"> — Зависит от использования носителей; — зависит от требований к форме конечных отходов; — до 20 бочек (200 л в бочке). |
| Пространство для хранения | Максимум 28 м ³ (площадь пола 3 м × 3 м). |
| Другие расходные материалы | |
| Годовое количество или объем | Запасные части. |

ТАБЛИЦА II–1. ОБЗОР ТЕХНОЛОГИИ (продолж.)

| Рассматриваемый параметр | Описание или значение(я) |
|--|--|
| Пространство для хранения | Минимальное. |
| Сбор, складирование и хранение отходов, связанных с технологическим процессом (в год): учитываются полные и находящиеся в эксплуатации контейнеры | |
| Годовое количество или объем | Такие же, как для новых контейнеров для отходов. |
| Пространство для хранения | Не более 60 м ³ (с учетом доступа к защитным экранам и подъемному устройству). |
| Сводная информация о комплектной системе | |
| Мобильная или устанавливаемая на салазки | Как правило, на полу или на салазках. |
| Общие размеры | 28 м ² . |
| Общий объем | 90 м ³ . |
| Общая масса | До 4500 кг (в зависимости от размера и количества корпусов фильтров и требований к экранированию). |

ТАБЛИЦА II–2. КОМПОНЕНТЫ СИСТЕМЫ

| Отдельные подсистемы и компоненты | Подробные технические данные (характеристики, параметры, значения) | Примечания |
|-----------------------------------|--|--|
| Трубопроводы | Давление: 1,0 МПа. | Типичное. |
| Клапаны | Давление: 1,0 МПа. | Типичное. |
| Органы управления | Требования к электропитанию и воздуху зависят от типа управления и применения. | Отсутствуют. |
| Корпуса (фильтр, ионный обмен) | — Давление: 1,0 МПа. — Расход: 114 л/мин. | Варьируется от гораздо более низких до гораздо более высоких значений. |
| Насосы | — Давление: 1,0 МПа. — Расход: 114 л/мин. | Варьируется от гораздо более низких до гораздо более высоких значений. |
| Шланги | — Давление: 1,0 МПа. — Устойчивые к ультрафиолетовому излучению и маслостойкие. | — Варьируется от гораздо более низких до гораздо более высоких значений; — нет значения для параметров стойкости. |

ТАБЛИЦА II–2. КОМПОНЕНТЫ СИСТЕМЫ (продолж.)

| Отдельные подсистемы и компоненты | Подробные технические данные (характеристики, параметры, значения) | Примечания |
|--|--|---|
| Емкости (питающие/сборные, для продукции/эффлюентов, химреагентов, смесительные) | Объем: 0,010–227 м ³ . | Большие емкости обычно находятся на участке переработки, входящем в состав оборудования этой установки. Емкости для небольших применений в рамках технологического процесса и емкости подачи химреагентов обычно имеют меньший объем. |
| Вентиляционные каналы | Отсутствуют. | Отсутствуют. |
| Прочее | Отсутствуют. | Отсутствуют. |

Примечание: Пользователь должен изменить таблицу в соответствии с требованиями для нескольких компонентов.

ТАБЛИЦА II–3. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СОПРЯЖЕНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ

| Вид услуг | Тип | Подробные технические данные (характеристики, параметры, значения) | Примечания |
|---|-------------------------------|--|--|
| Электроснабжение | Силовое | — 220 В перем. тока — 200 А — 3-фазное — 60 Гц | Насосы и контроллеры |
| Вода | Деминерализованная | 1,0 МПа. | Для промывки фильтрующих сред |
| воздух | Не содержит масел и воды | 1,7 м ³ /мин. | Корпуса фильтрующих сред и фильтров очистки продувочной воды |
| Питающий трубопровод жидкостей для переработки | Поступающая вода | 1,0 МПа. — 114 л/мин. | Отсутствуют |
| Возвратный(е) трубопровод(ы) жидкостей для утилизации | Вода для сброса | — 100 кПа — 114 л/мин. | Отсутствуют |
| Система удаления жидкостей | Сбор утечек, слив из емкостей | Одна или берма/обваловка | Атмосферная |

ТАБЛИЦА П–3. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СОПРЯЖЕНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ (продолж.)

| Вид услуг | Тип | Подробные технические данные (характеристики, параметры, значения) | Примечания |
|---|--|---|---|
| Перемещение переработанных отходов (например, спрессованных шайб отходов после компактирования) в контейнер для отходов | Отсутствуют | Отсутствуют | Трубопровод стока воды к точке утилизации (то же, что и выше) |
| Перемещение/ передвижение вторичных отходов для вторичной переработки или в контейнер для отходов | Блок промывки отработанных ионообменных сред | — 1,0 МПа — 65 мм | Минимальный диаметр, необходимый для успешного переноса ионообменной суспензии |
| Вентиляция (отопление, воздухозабор, кондиционирование воздуха) | Отсутствуют | Отсутствуют | — Обычно не требуется — В зависимости от местных условий и правил |
| Сбор, распределение и мониторинг газообразных эфлюентов | Отсутствуют | Отсутствуют | — Обычно не требуется — В зависимости от местных условий и правил |
| Связь (телефон, Интернет, сбор данных, органы управления) | Телефон | Один или несколько | Связь с установкой |
| Радиационный монитор (мощность дозы, персонал, воздух) | — Гамма-излучение — Бета-излучение | — Один или несколько — Один или несколько | — Для мониторинга роста активности сред — Для дозиметрического контроля персонала и мониторинга радиоактивного загрязнения участка |
| Мониторинг химических параметров | Отсутствуют | Отсутствуют | — Проводимость на входе и выходе, pH, состав раствора |
| Внешние системные и сервисные требования к вспомогательному оборудованию и системам (электропитание, оборудование для смешивания, воздухозабор) | Отсутствуют | Отсутствуют | — Обычно не требуется — Может потребоваться электропитание для удаления остаточной воды из выработавших ресурс сред или для переработки вторичных отходов — Подробные сведения см. в разделе 5 «Герметизация и отверждение» |

ТАБЛИЦА II–3. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СОПРЯЖЕНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ (продолж.)

| Вид услуг | Тип | Подробные технические данные (характеристики, параметры, значения) | Примечания |
|------------------------|-------------|--|---|
| Противопожарная защита | Отсутствуют | Отсутствуют | — Обычно не требуется — В зависимости от национальных и местных требований |
| Прочие разные предметы | Отсутствуют | Отсутствуют | Наличие лаборатории на площадке |

ТАБЛИЦА II–4. РАБОЧИЕ ПОМЕЩЕНИЯ

| Рассматриваемый параметр | Подробные технические данные (характеристики, параметры, значения) | Примечания |
|---|--|---|
| Эксплуатация | 2 м | С каждой стороны для облегчения мониторинга |
| Замена фильтрующих сред | 2 м | С каждой стороны для облегчения замены |
| Техническое обслуживание | 2 м | Отсутствуют |
| Замена компонентов | 2 м | Отсутствуют |
| Перемещение отходов | 3 м | Отсутствуют |
| Прокладка и зазоры силового кабеля, водопроводных труб, трубопроводов технического или приборного воздуха | Рекомендуется использовать минимальный, входящий в комплект поставки или кабельный лоток | Отсутствуют |
| Барьеры (персонал, физическая безопасность, жидкость, контроль радиоактивного загрязнения) | Для установления границ на основе мощностей дозы и пределов, определенных для конкретного применения | Отсутствуют |
| Станции или оборудование радиационного мониторинга в целях обеспечения радиационной защиты | 4 м ² . | Зона дозиметрического контроля персонала |

ТАБЛИЦА II-5. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕСА

| Рассматриваемый параметр | Подробные технические данные (характеристики, параметры, значения) | Примечания |
|---|--|---|
| Система переработки (смонтированные на салазках или интегрированные компоненты) | 680 кг/м ² | Отсутствуют |
| Нештатное увеличение веса | Различное | Вилочный погрузчик для перемещения контейнеров для отходов или новых сред |
| Средства контроля доступа (двери, ворота, ограждения, стены) | Отсутствуют | Особых требований нет |
| Защитное экранирование (постоянное, дополнительное нестандартное) | 1360 кг/м ² | Дополнительное защитное экранирование по мере необходимости |
| Общий вес отходов до и после переработки (отходы и контейнеры) | 200 кг/м ² | Отсутствуют |
| Зона размещения оборудования | Отсутствуют | Различная |

ТАБЛИЦА II-6. СРЕДСТВА ФИЗИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ДОСТУПА

| Рассматриваемый параметр | Подробные технические данные (характеристики, параметры, значения) | Примечания |
|--|--|--|
| Средства контроля доступа | Отсутствуют | Отсутствуют |
| Двери или ворота | Одни | Ворота контроля доступа |
| Ограждения или стены | От одного(й) до четырех | В целях полного контроля доступа к оборудованию для переработки |
| Барьеры для контроля жидкого и нефиксированного радиоактивного загрязнения | Отсутствуют | Отсутствуют |
| Бермы/обваловки, бордюры или стены | От одного(й) до четырех | В целях полной локализации разливов, утечек или сливаемых жидкостей |

ТАБЛИЦА II-7. ПЕРЕМЕЩЕНИЕ ОТХОДОВ И МАТЕРИАЛОВ

| Эксплуатация | Оборудование (тип, требования к доступу, грузоподъемность) | Пространство для загрузки/ выгрузки | Высота загрузки/выгрузки |
|--|--|---|--------------------------------------|
| Доставка оборудования | Рекомендуется использовать торцевой или боковой погрузчик | 100–350 м ² | 10 м (при использовании крана) |
| Наладка оборудования | Вилочный погрузчик или кран грузоподъемностью 5–10 т | 37 м ² | 7 м (больше при использовании крана) |
| Штатная эксплуатация технологической системы | Вилочный погрузчик или домкрат для поддонов грузоподъемностью 1 т | Радиус разворота оборудования | Высота подъема оборудования |
| Площадка для размещения оборудования, необходимая для сборки и установки | Нет | 37 м ² | 7 м (больше при использовании крана) |
| Доставка и удаление отходов с площадки (транспортный контейнер и отдельные компоненты, такие как обложки или крышки) | — Вилочный погрузчик или кран — Грузоподъемность зависит от национальных и местных нормативных актов и типа контейнера для отходов | В зависимости от типа грузового автомобиля, контейнеров, флаг и требований к упаковке | 10 м (при использовании крана) |
| Специальные разрешения на использование дорог или требования в отношении уведомления национальных и местных органов власти (негабаритная ширина, повышенный вес, негабаритные размеры) | — Согласно национальным и местным правилам — В случае высокоактивных отходов может потребоваться получение разрешения на провоз груза повышенного веса — Как правило, ширина или размеры не являются негабаритными | | |
| Соображения физической безопасности при транспортировке | Как правило, эти отходы имеют низкую активность. Для конкретных видов отходов или концентраций конкретных изотопов в перевозимых отходах могут потребоваться дополнительные меры по обеспечению физической безопасности. Определяются национальными и местными нормативными актами | | |

СОСТАВИТЕЛИ И РЕЦЕНЗЕНТЫ

| | |
|-----------------|--|
| Абакумова, А. | Научно-технический центр ядерной и радиационной безопасности (НТЦ ЯРБ), Российская Федерация |
| Alvarez, D.E. | Управление по ядерному регулированию, Аргентина |
| Braud, C.B. | Компания «СОКОДЕИ», Франция |
| Drace, Z. | Международное агентство по атомной энергии |
| Johnson, A. | Компания «Энерджи солюшенз», Соединенные Штаты Америки |
| Карлин, Ю. | МосНПО «Радон», Российская Федерация |
| Krasznai, J. | Компания «Кинектрикс», Канада |
| Martinez, F. | Компания «Нюсим С.А.», Испания |
| Mujumdar, A. | Центр атомных исследований им. Бхабхи, Индия |
| Nair, K.N.S. | Центр атомных исследований им. Бхабхи, Индия |
| Pöppinghaus, J. | Компания «ГНС гезельшафт фюр нюклеар сервис мбХ», Германия |
| Rives, J.-F. | Компания «СОКОДЕИ», Франция |
| Rizzo, S. | Компания «Нюклеко», Италия |
| Samanta, S.K. | Международное агентство по атомной энергии |
| Саундерс, P.D. | Компания «Санкоуст солюшенз», Соединенные Штаты Америки |
| Цыпленков, В. | Международное агентство по атомной энергии |
| Tusa, E. | Компания «Фортум нюклеар сервисиз», Финляндия |
| Vaught, D. | Компания «Дюк энерджи», Соединенные Штаты Америки |

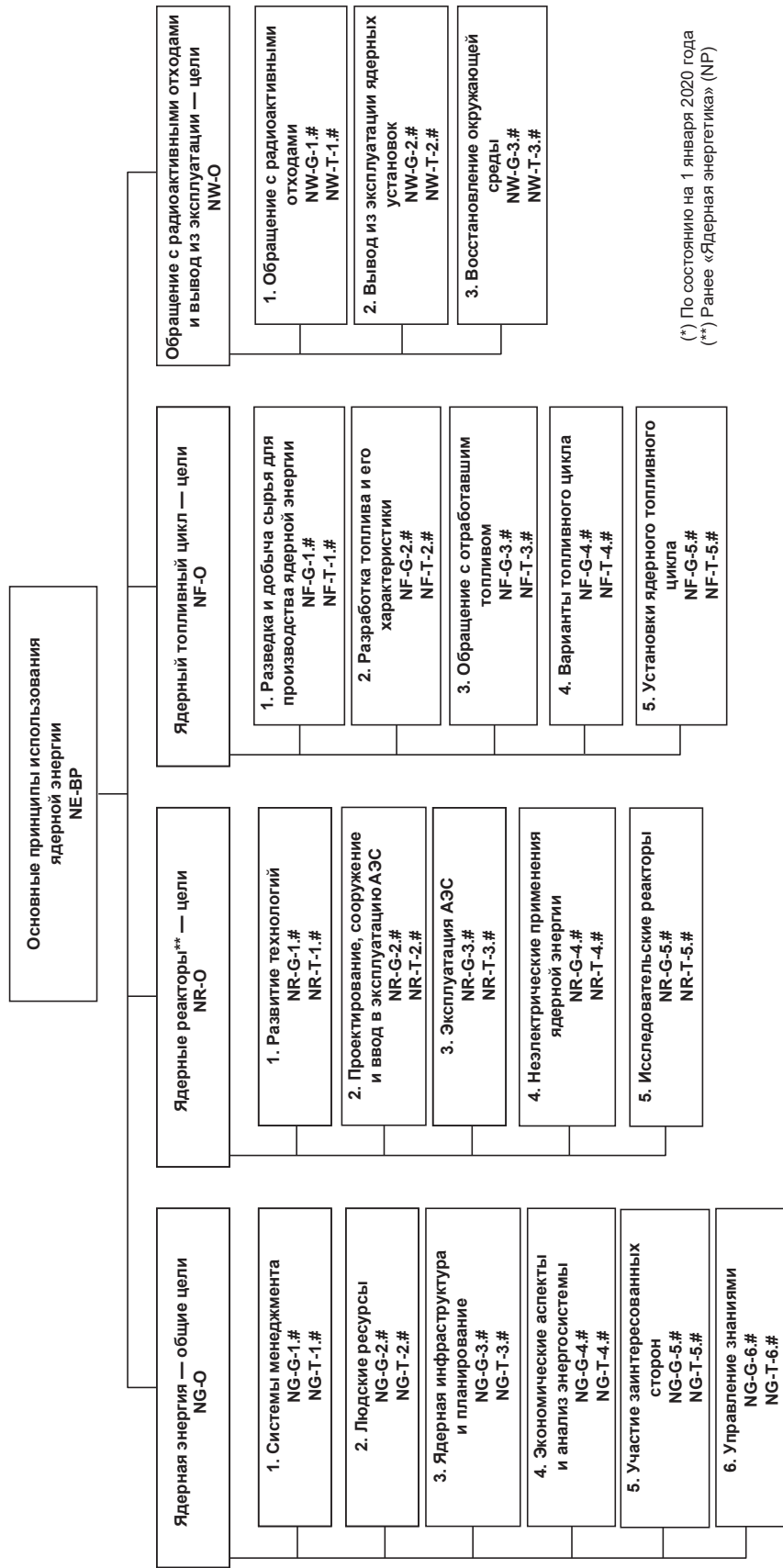
Совещания консультантов

Вена, Австрия: 31 марта — 4 апреля 2008 года, 10–14 мая 2010 года

Техническое совещание

Вена, Австрия: 28 сентября — 2 октября 2009 года

Структура Серии изданий МАГАТЭ по ядерной энергии*



(*) По состоянию на 1 января 2020 года
(**) Ранее «Ядерная энергетика» (NP)

Обозначения

BP: Основные принципы
O: Цели
G: Руководства и методологии
T: Технические доклады
№ 1–6: Обозначение тематик
#: Номер руководства или доклада

Примеры

NG-G-3.1: Общая тематика (NG), руководства и методологии (G), ядерная инфраструктура и планирование (тематика 3), #1
NR-T-5.4: Ядерные реакторы (NR), технический доклад (T), исследовательские реакторы (тематика 5), #4
NF-T-3.6: Ядерное топливо (NF), технический доклад (T), обращение с отработавшим топливом (тематика 3), #6
NW-G-1.1: Обращение с радиоактивными отходами и вывод из эксплуатации (NW), руководства и методологии (G), обращение с радиоактивными отходами (тематика 1), #1



IAEA

Международное агентство по атомной энергии

№ 26

ЗАКАЗ В СТРАНАХ

Платные публикации МАГАТЭ могут быть приобретены у перечисленных ниже поставщиков или в крупных книжных магазинах.

Заказы на бесплатные публикации следует направлять непосредственно в МАГАТЭ. Контактная информация приводится в конце настоящего перечня.

СЕВЕРНАЯ АМЕРИКА

Bernan / Rowman & Littlefield

15250 NBN Way, Blue Ridge Summit, PA 17214, USA

Тел.: +1 800 462 6420 • Факс: +1 800 338 4550

Эл.почта: orders@rowman.com • Сайт: <http://www.rowman.com/bernan>

ОСТАЛЬНЫЕ СТРАНЫ

Просьба связаться с местным поставщиком по вашему выбору или с вашим основным дистрибьютером:

Eurospan Group

Gray's Inn House

127 Clerkenwell Road

London EC1R 5DB

United Kingdom

Торговые заказы и справочная информация:

Тел: +44 (0) 1767604972 • Факс: +44 (0) 1767601640

Эл.почта: eurospan@turpin-distribution.com

Индивидуальные заказы:

www.eurospanbookstore.com/iaea

Дополнительная информация:

Тел: +44 (0) 2072400856 • Факс: +44 (0) 2073790609

Эл.почта: info@eurospangroup.com • Сайт: www.eurospangroup.com

Заказы на платные и бесплатные публикации можно направлять напрямую по адресу:

Группа маркетинга и сбыта (Marketing and Sales Unit)

Международное агентство по атомной энергии

Vienna International Centre, PO Box 100, 1400 Vienna, Austria

Телефон: +43 1 2600 22529 или 22530 • Факс: +43 1 26007 22529

Эл.почта: sales.publications@iaea.org • Сайт: <https://www.iaea.org/ru/publikacii>

