

# УСТАНОВКИ ДЛЯ ОБРАЩЕНИЯ С РАДИОАКТИВНЫМИ ОТХОДАМИ И УЭК МЕРЫ ПО ПОВЫШЕНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ

ЭРНСТ ВАРНЕККЕ

**В** области обращения с радиоактивными отходами широко применяются компьютеризованные системы, например при работе установок и обработке данных. Потенциальная серьезность и масштабы проблем УЭК требуют обеспечения того, чтобы были приняты меры по поддержанию безопасной эксплуатации в любое время.

В обычных условиях меры, предусматриваемые на случай отказов компьютеризованных систем, применяются в соответствии с общим подходом к безопасности, например обеспечением разнообразия и резервирования средств. В случае проблем УЭК может оказаться невозможным полагаться на этот подход, так как резервная система, установленная для предотвращения отказа, тоже может отказать — так называемый «отказ по общей причине». Поэтому проблемы УЭК на установках для обращения с радиоактивными отходами требуют оценки. К счастью, при обращении с радиоактивными отходами реакция процесса или операции на отказ во многих случаях будет медленной, обеспечивая тем самым больше времени на разрешение проблемы, до того как возникнут радиационные последствия. Эту особенность процесса можно принять во внимание при решении проблем УЭК, но она не оправдывает их игнорирования.

Хотя основной руководящий документ МАГАТЭ по достижению готовности к УЭК главным образом предназначен для атомных станций, в нем описываются

методы, в основном применимые к другим ядерным установкам и многим промышленным объектам. Он касается, в частности, оценки проблемы, корректирующих мер, планирования на случай непредвиденных обстоятельств и аспектов регулирования. Он составлен таким образом, чтобы охватить проблемы УЭК применительно к сложным установкам.

В области обращения с радиоактивными отходами типы установок и виды выполняемых операций могут быть весьма разнообразными. Они могут варьироваться от стеклования высокоактивных отходов переработки до выдержки отходов медицинского применения короткоживущих радионуклидов. Потребность в компьютерах и их применение на различных установках и в операциях при обращении с радиоактивными отходами также различны. Они могут варьироваться от полностью компьютеризованных процессов до полного отсутствия компьютерных приложений, в особенности в простых процессах или стадиях обращения с радиоактивными отходами. Деятельность МАГАТЭ по оказанию помощи государствам-членам в поддержку их усилий по обеспечению готовности к УЭК была сосредоточена на разработке руководства по выявлению уязвимых мест и обеспечению защищенности установок и операций при обращении с радиоактивными отходами в связи с проблемой УЭК.

**Виды отходов.** Обращение с радиоактивными отходами включает широкий спектр материа-

лов, процессов и операций и, в равной степени, широкий спектр установок различного срока службы и степени сложности. Некоторые процессы являются непрерывными, в то время как другие включают дозировку или механическую загрузку и транспортировку. Управление этими процессами и последовательностью операций может осуществляться автоматически, но часто из-за медленного характера процесса для выполнения той или иной операции широко используется персонал или опираются на него.

Для целей обработки радиоактивные отходы часто классифицируются по их физическому состоянию (газообразные, жидкие и твердые) и по радиационной опасности, которую они представляют (высокоактивные отходы или низкоактивные и отходы промежуточной активности). В силу своего химического состава радиоактивные отходы могут проявлять нерадиоактивные свойства; это могут быть, например, самовоспламеняющиеся вещества, вещества, которым свойствен саморазогрев или образование водорода. Эти факторы и то, подверглись ли радиоактивные отходы кондиционированию, будут определять связанную с ними потенциальную опасность.

## ОЦЕНКА ПРОЦЕССОВ

Чтобы удовлетворять национальным требованиям, требова-

*Г-н Варнекке — сотрудник Отдела радиационной безопасности и безопасности отходов МАГАТЭ.*

ниям регулирующих органов и потребителей, процессы обращения с радиоактивными отходами и изготовление контейнеров для отходов обычно носят в высшей степени специализированный характер. Кроме того, работа оборудования и установки во многом будет зависеть от таких характеристик, как вид и количество радиоактивных отходов, которые должны быть подвергнуты обработке. Она также зависит от того, представляет ли собой рассматриваемый технологический процесс исследовательскую установку, вспомогательный процесс или автономную установку по обработке отходов. Вследствие такого широкого спектра установок и работ, а также различных потенциальных опасностей радиоактивных отходов необходимо применять системный подход для определения тех видов отходов и процессов, которые могут быть чувствительны к проблеме Y2K.

Следовательно, может быть подготовлено только общее руководство. На практике операторам установок, контролируемых регулирующим органом, необходимо оценить каждую отдельную установку или вид работ, учитывая все характеристики соответствующего технологического процесса и систем управления. Анализ безопасности (который должен существовать для каждой установки как основа для процедуры ее лицензирования) будет базой для выполнения оценки проблем Y2K с точки зрения потенциальной опасности и возможных последствий отказов и риска, связанного с эксплуатацией данной установки.

На тех установках, где применяются компьютеризованные системы, их отказ, скорее всего, будет рассмотрен в рамках анализа безопасности. Однако "отказ по общей причине", связанный с проблемой Y2K, вряд ли будет затронут. Таким образом, исследование проблемы Y2K должно сосредоточиваться на оборудовании управления про-

цессом, важного для безопасности, или на другом оборудовании, где используются функции времени и даты. Для достижения полного и надежного знания ситуации важно располагать информацией поставщика и проверить ее, что во многих случаях является абсолютно необходимым.

**Стеклование.** Стеклование представляет собой процесс, используемый обычно для конверсии растворов высокоактивных отходов от переработки отработавшего топлива в стабильную форму, пригодную для хранения и удаления. Важными характеристиками этих процессов являются высокие уровни излучения, соответствующее тепловыделение, высокие температуры процесса плавления и высокая летучесть некоторых радионуклидов, присутствующих в таких отходах.

Для достижения безопасной эксплуатации абсолютно необходимо правильное взаимодействие регулирующего и измерительного оборудования, а также оборудования сигнализации. Отказ технологического оборудования или выход из строя систем управления могут привести к тому, что технологические потоки или продукты процесса не будут удовлетворять установленным техническим требованиям. Нестабильность или отклонения параметров технологического процесса, таких как электроснабжение оборудования, могут привести к образованию такого состава стекла, который не удовлетворяет техническим требованиям, и к таким скоростям заливки, которые могут повлиять на долгосрочную стабильность продукта. Переполнение плавильного аппарата или пенала может вызвать загрязнение камер и установок. Отказ в процессе приваривания крышки может привести к тому, что не гарантируется герметичность пеналов радиоактивных отходов. Следствием неисправностей в работе систем обработки отво-

димых газов может стать недостаточное улавливание летучих радионуклидов и химически токсичных веществ, таких как  $\text{NO}_x$ , с последующим выбросом в окружающую среду.

При решении проблемы Y2K для данного процесса приоритет следует отдать тем компьютеризованным системам, сбои в которых могут вызвать отказ систем обработки отводимых газов, пополнение плавильного аппарата и пенала и производство продуктов стеклования, не удовлетворяющих техническим требованиям.

**Кондиционирование отработавшего топлива.** Кондиционирование отработавшего топлива, объявленного отходами, служит альтернативой переработке и последующему стеклованию высокоактивных отходов переработки ядерного топлива. В основном здесь используются работы по вторичной упаковке, обычно чисто механического характера, в ходе которых не предполагается нарушать целостность тепловыделяющих элементов. Если приняты меры предосторожности по предотвращению любых повреждений целостности тепловыделяющих элементов в случае отказа системы, то не ожидается возникновения каких-либо проблем с безопасностью в контексте проблем Y2K. Ожидается, что ни одна из установок кондиционирования отработавшего топлива не будет эксплуатироваться в критические с точки зрения проблемы Y2K дни.

**Битуминизация.** Процесс битуминизации широко используется для связывания радиоактивных отходов установок ядерного топливного цикла, включая атомные станции и установки переработки ядерного топлива. Обычно посредством битуминизации осуществляется связывание низкоактивных отходов и отходов промежуточной активности различного состава.

Отказы могут привести к образованию форм битуминизированных отходов, не удовлетворя-

ющих техническим требованиям. Отказ системы отводимых газов может привести к недостаточному улавливанию радионуклидов. В целях избежания пожара или других термических реакций при выдавливании или заполнении контейнеров, что может привести к загрязнению установки, необходимо регулировать температуру.

При решении проблем Y2K для данного процесса приоритет следует отдать тем компьютеризованным системам, которые могут вызвать отказ регулирования температуры, системы отвода газов и регулирования подачи сырья и к нарушению соотношения в расходах сырья/битума.

**Сжигание.** Сжигание является эффективным процессом для уменьшения объема органических радиоактивных отходов в жидкой и твердой форме. Для полного сжигания требуются температуры до 1200°C, соответствующая дозировка сырья и эффективная система обработки отводимых газов, способная улавливать радионуклиды и химически токсичные соединения, в особенности диоксины, а также хлористый водород, SO<sub>2</sub> и NO<sub>x</sub>.

Отсутствие регулирования температуры и дозировки сырья может привести к образованию зольных продуктов, не удовлетворяющих техническим требованиям, и к неконтролируемым экзотермическим реакциям, которые могут повлиять на нормальную работу системы отвода газов. Такие нарушения технологического процесса чреваты возможностью выброса в окружающую среду радиоактивных веществ, а также коррозионных и токсичных химических соединений.

При решении проблемы Y2K для данного процесса приоритет следует отдать тем компьютеризованным системам, которые могут вызвать отказ систем регулирования температуры, регулирования подачи сырья и отвода газов.

**Сушка.** Сушка применяется для удаления жидкости или

влажности из твердых радиоактивных отходов. Она также применяется для отверждения радиоактивных отходов в виде растворов и суспензий для получения твердых продуктов. Необходимая тепловая энергия может быть получена за счет использования электроэнергии, пара или другого теплоносителя. Применение вакуума может позволить осуществлять сушку при более низких температурах, предотвращая тем самым неизбежное разрушение чувствительных к температуре соединений. Образующийся в процессе сушки пар конденсируется. Чтобы избежать любых недопустимых выбросов в окружающую среду и предотвратить образование опасных концентраций смесей воздух/газ, которые могут привести к экзотермическим реакциям, используются системы вентиляции и отвода газов.

Отказы регулирования соответствующих параметров технологического процесса могут привести к образованию продуктов, не удовлетворяющих техническим требованиям. Повреждение систем вентиляции и отвода газов из-за перегрева, пожара или взрыва может привести к выбросу радионуклидов в окружающую среду и загрязнению установки.

При решении проблем Y2K для данного процесса приоритет следует отдать тем компьютеризованным системам, которые могут вызвать отказ систем регулирования температуры, регулирования подачи сырья и отвода газов.

**Цементация.** Цементация является наиболее часто применяемым процессом для связывания твердых и жидких низкоактивных отходов и отходов промежуточной активности почти всех типов ядерных установок. Применяются разнообразные процессы цементации, которые варьируются от управляемых вручную до высокоавтоматизированных процессов и от процессов прямого управления до

дистанционно управляемых процессов. Рассматриваемые радиоактивные отходы могут иметь большие различия по степени загрязнения – от веществ со степенью загрязнения, близкой к нулю, до сильно загрязненных или высокоактивных компонентов с соответствующими уровнями радиации.

В зависимости от характера радиоактивных отходов применяются различные процессы. В случае твердых радиоактивных отходов (например, оболочки, лом или демонтированные технологические компоненты) материал может быть просто помещен в контейнер, например в барабан, и залит цементом или бетоном для заполнения связующим веществом пространства между твердыми телами.

Жидкие радиоактивные отходы или продукты осаждения обычно смешиваются с цементом, как суспензия, до получения однородных продуктов. В зависимости от того, какой процесс применяется, в операциях по цементированию таких отходов имеются большие различия.

Почти во всех случаях отсутствует серьезная возможность возникновения экзотермических реакций, пожаров или взрывов. Отсутствует также возможность существенного выброса аэрозольных вредных веществ или радионуклидов. Только оболочки от переработки отработавшего топлива имеют тенденцию к самовозгоранию, и до дальнейшей обработки их необходимо держать под водой. Низкие температуры и в основном механический характер операций технологического процесса наряду с их простотой обеспечивают применение процесса цементации без больших опасностей. Ошибочная дозировка сырья и связующего вещества может привести к получению продуктов, не отвечающих техническим требованиям при неисправностях узлов или регулирующих приборов. В таких случаях продукт может, к примеру, не обладать ожидае-

мыми механическими свойствами или может даже не затвердеть.

При решении проблем УЗК в отношении процесса цементации приоритет следует отдать тем компьютеризованным системам, которые могут вызвать отказ регулирования химического состава и соотношения сырья/связующее вещество.

**Прессование.** Прессование применяется к самым разнообразным твердым радиоактивным отходам. Твердые радиоактивные отходы, которые в конечном счете будут уложены в контейнер или барабан, помещают в камеру пресса, где под воздействием большого усилия они прессуются в таблетку. Присутствующая в отходах влага при этом из них выдавливается и собирается. Никакие определенные опасности с данным процессом не связаны, поскольку прессованию не подвергаются взрывчатые, горючие или иным образом опасные вещества. Не выявлено никаких особенностей в отношении безопасности, связанных с чувствительностью к проблеме УЗК.

Иная ситуация, когда прессованию подвергаются оболочки из циркония от переработки отработавшего топлива. В этом случае внимание с точки зрения проблемы УЗК необходимо уделить системе создания инертной среды во избежание опасности случайного самовозгорания, которое может оказать влияние на системы вентиляции и отвода газов. Неисправности могут привести к загрязнению установки или выбросу радионуклидов в окружающую среду.

**Другие процессы.** При обращении с радиоактивными отходами в рамках общего подхода к обработке жидких радиоактивных отходов в качестве операций обработки могут применяться процессы выпаривания, ионного обмена и осаждения. Вследствие отказа оборудования могут возникнуть следующие проблемы, связанные с безопасностью: коррозия оборудования, опас-

ность экзотермических реакций, выброс радиолитического газа, если присутствует органический материал.

При решении проблем УЗК необходимо уделить внимание технологическим процессам термической обработки радиоактивных отходов, при этом приоритет следует отдать тем компьютеризованным системам, которые осуществляют регулирование температуры и содержание органических веществ в потоке радиоактивных отходов.

## **ХРАНЕНИЕ И УДАЛЕНИЕ**

На установках хранения могут содержаться некондиционированные радиоактивные отходы в твердом или жидком виде, ожидающие дальнейшей обработки. Вследствие статического характера процесса хранения, при котором не происходит изменения объема и формы отходов, опасности могут возникнуть лишь как следствие свойств, присутствующих в отходах. При хранении жидких радиоактивных отходов, содержащих диспергированные в них твердые частицы, может произойти осаждение твердых частиц, которые очень трудно удалять из резервуара-хранилища.

Поэтому в зависимости от вида радиоактивных отходов необходимо обратить внимание на:

- вентиляцию — в целях предотвращения пожара или образования взрывоопасных газоздушных смесей или недопустимых концентраций коррозивных веществ;
- системы охлаждения — во избежание изменения химического состава, повышения температур до слишком высоких значений или критических концентраций из-за испарения раствора;
- создание инертной среды системы; и
- механические или пульсирующие системы перемешивания для получения однородных растворов и предотвращения аккумуля-

ции диспергированных твердых частиц.

Хранение кондиционированных радиоактивных отходов обычно предполагает наличие контейнеров, предназначенных для хранения и проверенных на соответствие требованиям хранения. Единственным видом радиоактивных отходов, который требует дальнейшего внимания, являются тепловыделяющие твердые высокоактивные отходы. Во всех известных случаях хранение таких отходов осуществляется с использованием пассивных систем охлаждения на основе естественной конвекции, которые не зависят от активных систем.

При решении проблем УЗК в отношении процесса хранения радиоактивных отходов приоритет следует отдать тем компьютеризованным системам, которые осуществляют контроль активных компонентов установки хранения, важных для безопасности, таких как принудительная вентиляция, системы создания инертной среды, пульсирующие или механические системы перемешивания растворов и системы контроля хранящихся радиоактивных отходов.

**Сооружения для захоронения.** Радиоактивные отходы, предназначенные для постоянного захоронения, и соответствующие установки для их захоронения проектируются и сооружаются таким образом, чтобы обеспечивать их безопасную эксплуатацию. В частности, они могут длительное время оставаться необслуживаемыми и не требовать активных мер безопасности.

Реалистичные сценарии радиационного облучения или выброса радионуклидов в окружающую среду вследствие проблем УЗК не могут быть выявлены.

## **СБРОСЫ И ОСВОБОЖДЕНИЕ ОТ КОНТРОЛЯ**

Сброс относится к высвобождению радионуклидов в окружающую среду в пределах, уста-

новленных регулирующим органом. Освобождение от контроля относится к выводу отходов из-под контроля регулирующего органа при таких низких концентрациях или количествах радионуклидов, что связанное с ними потенциальное радиационное облучение является пренебрежимо малым.

Сброс газообразных веществ в окружающую среду как часть нормальной эксплуатации атомной станции осуществляется в связи с работой станции и ее системы отвода газов.

Важность систем отвода газов уже подчеркивалась в связи с оценкой установок обработки радиоактивных отходов.

Сбросы жидкостей в морскую среду, реки или системы канализации обычно осуществляются периодически после тщательного анализа раствора и проверки на соответствие требованиям регулирующего органа. Проект и конструкция установки должны исключать возможность непредусмотренных сбросов.

В некоторых случаях решения по сбросам или освобождению от контроля принимаются, например, на основании расчетов распада. В таких ситуациях расчеты являются зависимыми от даты. Они могут оказаться ошибочными вследствие проблем Y2K и привести, таким образом, к недопустимому сбросу или освобождению от контроля.

При решении проблем Y2K в отношении сбросов и освобождения от контроля приоритет следует отдать тем компьютеризованным системам, которые применяются для выполнения расчетов распада или аналогичных расчетов общего содержания радионуклидов в отходах.

## КОНТРОЛЬ И АНАЛИЗ

Помимо прямого участия компьютеризованных систем в оперативном управлении процессами или установками для обращения с радиоактивными отходами компьютеры используются в

целях автономного контроля и анализа процессов. По всем аспектам процессов обращения с радиоактивными отходами осуществляются сбор данных, их использование и хранение, включая записи по общему количеству радиоактивных отходов, ключевым параметрам работы на определенных стадиях процесса, размещению контейнеров с отходами в рамках процесса и размещению контейнеров с отходами в пределах хранилища или сооружения захоронения. Данные также используются в таких расчетах, как оценки распада для принятия решений о разделении отходов. Данные также используются для проведения калибровки измерительных приборов оперативного контроля.

Существенной частью обеспечения безопасности при обращении с радиоактивными отходами является обеспечение точности, достоверности и доступности таких данных. Там, где компьютеризованные системы используются для сбора, расчета и хранения такой информации, существует возможность уязвимости компьютеризованных систем в отношении проблемы Y2K и риска, что данные могут быть утрачены или искажены.

При решении проблем Y2K приоритет следует отдать тем компьютеризованным системам, которые используются в автономном режиме для обеспечения процессов при обращении с радиоактивными отходами, например для выполнения расчетов и хранения данных. Должна быть проведена оценка компьютеризованных систем с точки зрения их уязвимости в отношении проблемы Y2K, и если такое влияние имеет место, следует рассмотреть вопрос о разработке стратегии корректирующих мер с целью не допустить утрату или искажение данных.

## ОБМЕН ОПЫТОМ

В данной статье используется более подробное руководство,

предоставленное национальным учреждениям в технических документах МАГАТЭ, — *Меры безопасности при решении проблемы 2000 года на установках для обращения с радиоактивными отходами и Достижение готовности к 2000 году: основные процессы*, — опубликованных ранее в этом году.

С помощью этих и других средств национальные учреждения и компетентные международные организации были осведомлены о том, что была выявлена возможность радиационного облучения на установках для обращения с радиоактивными отходами, обусловленная проблемой Y2K. Регулирующим органам всех государств мира было предложено обеспечить, чтобы зарегистрированные лица и лицензиаты установок для обращения с радиоактивными отходами осуществили систематические действия по выявлению установок и операций по обращению с радиоактивными отходами, на которые может оказать влияние проблема Y2K, и приняли корректирующие меры в соответствии с указанными руководящими документами. При необходимости данные учреждения могут обратиться с просьбой о поддержке со стороны МАГАТЭ в виде содействия в достижении готовности к 2000 году.

Кроме того, поощряется своевременный обмен информацией и опытом по проблемам Y2K между всеми национальными учреждениями, а также зарегистрированными лицами и лицензиатами установок для обращения с радиоактивными отходами.

В целях содействия более широкому сотрудничеству МАГАТЭ в начале июля 1999 г. организовало международный практикум по обмену информацией о мерах безопасности, касающихся проблем Y2K на установках для обращения с радиоактивными отходами и установках ядерного топливного цикла.

