

*К. А. Поздняков, А. В. Белевский, Е. В. Клюкин, З. Ш. Никурадзе,
А. А. Перцев, О. А. Стрельцов, М. В. Юдин*

АО «ВНИИНМ», г. Москва

1. Введение

В АО «ВНИИНМ» проводятся работы по усовершенствованию технологии изготовления микросферического топлива для реакторов ВТГР, основными стадиями которой являются получение ядер из оксидов делящегося материала, нанесение на них ТРИЗО покрытий («Трехструктурное ИЗОтропное» покрытие, в английской терминологии TRISO «TRistructural ISOtropic») из пироуглерода и карбида кремния, изготовление топливных компактов. При этом используются оксиды урана различного обогащения, в перспективе плутоний, вредные химические вещества (ВХВ): метилтрихлорсилан, тетрахлорэтилен, азотная кислота, а также взрывоопасные газы: водород, ацетилен, пропилен. Помимо этого, образующиеся в процессе получения микросферического топлива газообразные продукты содержат хлористый водород, продукты пиролиза фенолформальдегидной смолы, сажу, водород, пары кислот и р/а аэрозоли. Все это требует создания технологий и оборудования для защиты окружающей среды от этих вредных факторов.

Принимая во внимание еще и местоположение Боксовой Исследовательской Установки (БИУ), остро встала проблема экологической безопасности проводимых работ. Для каждого участка исследовательской установки были разработаны локальные системы газоочистки (ЛСГО), методы обращения с радиоактивными отходами всех видов. Представлены краткое описание этапов технологии, оборудование, позволяющие проводить исследования по разработке тех-

нологии микросферического топлива в условиях московского мегаполиса с соблюдением экологических норм, без загрязнения окружающей среды отходами, а также комплекс технических решений, позволяющих снизить до приемлемого уровня или полностью исключить выход вредных и/или радиоактивных материалов в окружающую среду.

Создание экспериментальной базы для производства микросферического топлива для высокотемпературных газовых реакторов потребовало параллельного решения проблем защиты окружающей среды от выбросов вредных химических веществ, радиоактивных аэрозолей, обращения с разнообразными радиоактивными отходами (РАО).

2. Состав экспериментальной установки

На БИУ (рис. 1) проводятся технологические процессы по изготовлению микросферического топлива с соблюдением требований существующих норм и правил работ с делящимися материалами (ДМ) и ВХВ.

БИУ разделена на следующие технологические участки:

- приготовления растворов и получения ядер на основе оксидов ДМ;
- нанесения на ядра защитных ТРИЗО покрытий – получение микротрещал (МТ);
- изготовления топливных компактов (ТК);
- контроля качества (КК).

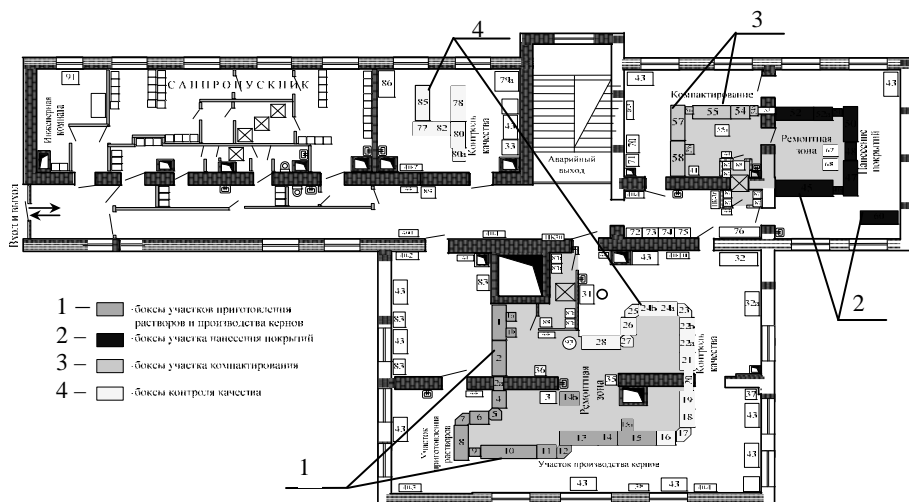


Рис. 1. Боксовая исследовательская установка

Для защиты окружающей среды и обеспечения безопасности персонала на трех участках созданы локальные системы газоочистки, проводится разбавление уже очищенных газов, а на участке контроля качества отходящие от боксов газы направляются в спецвентиляцию и подвергаются очистке в системе газоочистки института. Подача взрывоопасных газовых смесей, проводится с использованием конструкции «труба в трубе» с протоком инертного газа (азота) в межтрубном пространстве и контролем содержания H_2 на выходе. Имеются системы резервного водоснабжения для охлаждения печей, контроля до взрывоопасных концентраций горючих и взрывоопасных газов, автоматического управления процессами (СКУ). На установке имеется автоматические системы учета и контроля ДМ и сбора и хранения информации, обеспечена физическая защита от несанкционированного проникновения в производственную зону и доступа к ДМ.

3. Общие меры безопасности

В соответствии с требованиями ОСПОРБ-99/2010 на БИУ используется трехзональная планировка помещений для работы с ДМ. Контроль объемной активности в воздухе операторской и рабочей зоны обеспечивается пробоотборными устройствами с аналитическими фильтрами. Персонал БИУ имеет индивидуальные малогабаритные дозиметры ДТЛЮ2. Установка оборудована санпропускниками. В подвальном помещении имеется система резервного водоснабжения, которая берет на себя охлаждение высокотемпературных печей при нештатных ситуациях. Баллоны со сжатыми газами и оборудование регулирования расхода газов расположены в отдельном помещении – газобаллонной станции, расположенном в 20 м от корпуса, где расположена БИУ (рис. 2).



Рис. 2. Газобаллонная станция

3.1. Системы контроля и автоматического управления процессами (СКУ) БИУ

На всех участках БИУ имеются системы контроля и автоматического управления технологическими процессами, и соответствующее программное обеспечение. Информация поступает на рабочую

станцию оператора-технолога и отражается на дисплее. СКУ имеет возможность управлять процессами, как в автоматизированном, так и ручном режимах. В первом случае управление осуществляется без вмешательства оператора на отдельной стадии технологического процесса, но именно оператор-технолог принимает решение о переходе к следующему этапу. В ручном режиме оператор имеет возможность осуществлять ручной ввод параметров и управлять процессом по своему усмотрению. Важная для безопасности информация о текущей концентрации водорода, хлористого водорода и кислорода в боксах и операторских зонах измеряется газоанализаторами типа ИГС-98 и отображается восьмиканальным пороговым пультом контроля концентраций этих газов.

3.2. Инертная защитная атмосфера перчаточных боксов и другие меры безопасности

Боксы, где производятся работы с пожаро- и взрывоопасными газами имеют инертную атмосферу. Вытеснение воздушной среды из боксов перед экспериментами производится аргоном до содержания кислорода в боксе 0,7 % об. Для строгого контроля содержания кислорода – устанавливаются по два датчика на кислород на разной высоте. В процессе экспериментов производится подпитка инертной среды аргоном и азотом. Герметичные перчаточные боксы подсоединены к спецвентиляции, в которых поддерживается разрежении не менее 20 мм вод. ст., линии притока и вытяжки оборудованы фильтрами ФВ-0,4 и снабжены электромагнитными клапанами.

3.3. Организация физической защиты ДМ

В целях обеспечения сохранности ДМ, а также для обнаружения несанкционированного доступа к ним на БИУ осуществляется физическая защита (ФЗ) ДМ. На БИУ применяется система допуска персонала согласно требованиям и правилам Федеральных Законов, действующих в ГК «Росатом».

4. Безопасность изготовления кернов

4.1. Технология изготовления кернов

При изготовлении кернов на БИУ применяется один из вариантов золь-гель метода – метод внутреннего гелирования. Метод основан на изменении свойств рабочего раствора при изменении внешних условий, в частности, температуры. Рабочий раствор, устойчивый при температуре около 0 °С, диспергируется (рис. 3) в несмешивающуюся с водной фазой среду, например, тетрачлорэтилен, нагретую до температуры 70–80 °С. При этом происходит гелирование рабочего раствора внутри объема капли с образованием моноразмерных гель-сфер. Далее гель-сферы старят при температуре гелирования, отделяют от гелирующей среды, промывают 1–2 % водным раствором аммиака, сушат, прокаливают и спекают в восстановительной атмосфере до требуемой плотности.

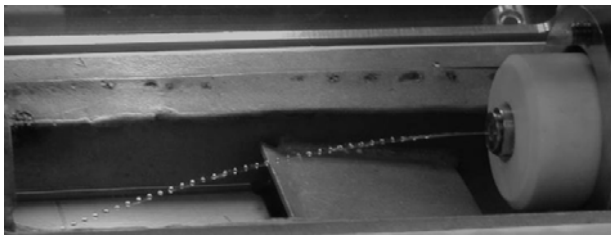


Рис. 3. Диспергирование рабочего раствора

В процессе изготовления кернов возможно образование как жидких, так и твердых отходов, содержащих РМ. Жидкие радиоактивные отходы (ЖРО) образуются в результате промывки гель-сфер аммиаком, а также аппаратов после технологического цикла. Содержащиеся в промывных водах РМ осаждаются, прокаливаются и возвращаются в начало цикла. Твердые радиоактивные отходы (ТРО) образуются при преждевременном гелировании рабочего раствора, образовании некондиционной фракции сферических частиц. ТРО также возвращается в начало технологии тем самым снижая до минимума невозвратные потери РМ.

4.2. ЛСГО участка растворов и кернов

Сдувки (удаляемые из технологического оборудования парогазовые смеси, вещества в газообразном и/или аэрозольном виде) с операций участка растворения и изготовления кернов условно можно разделить на «кислые» и «щелочные».

«Кислые» сдувки образуются с операций:

- растворения оксида урана (плутония) в азотной кислоте;
- сорбционной очистки раствора урана (плутония);
- упаривания раствора урана (плутония) и промывных растворов.

Сдувки содержат до 10 мг/м^3 урана, значительное содержание аэрозолей HNO_3 .

Для «кислых» сдувок используется отдельная ветка очистки отходящих газов с операций, которые проводятся под разрежением (от 0,05 до 0,2 атм) – упаривание раствора урана (плутония) и упаривание промывных растворов, так называемую систему очистки вакуумных «кислых» сдувок одновременно обеспечивает разрежение в приемных бачках для реагентов и жидких отходов, размещаемых в ремзоне технологических боксов.

Сдувки с операций гелеобразования и последующих технологических операций вплоть до спекания и получения UO_2 относятся к «щелочным».

ЛСГО «щелочных» сдувок обеспечивает очистку от аэрозолей с содержанием урана от 0,1 до 10 мг/м^3 на разных операциях. Таким образом, система ЛСГО участка растворения и изготовления кернов включает три ветки:

- систему очистки «кислых» сдувок,
- систему очистки «щелочных» сдувок,
- систему очистки вакуумных «кислых» сдувок.

Для вакуумных «щелочных» сдувок отдельной ветки газоочистки не предусмотрено. Передача

в технологические аппараты растворов на щелочных операциях производится периодически и может осуществляться насосом, установленным на ЛСГО вакуумных «кислых» сдувок

В каждой из веток ЛСГО высокоэффективная очистка обеспечивается системой из трех последовательно установленных стекловолоконных фильтров тонкой очистки типа ФСТО (рис. 4). Фильтры ФСТО снаряжены ультратонким стекловолокном с диаметром волокон $0,8 \text{ мкм}$ производства Новгородского завода стекловолокна. Конструкция фильтров, позволяет, в случае необходимости, изменять плотность упаковки фильтрующего материала. Коэффициент очистки такого фильтра $> 5 \times 10^3$.



Рис. 4. Фильтр ФСТО

Такие фильтры используются на всех участках БИУ, и, фильтрующие элементы на них, заменяются при достижении ими аэродинамического сопротивления 100 мм водного столба.

Отбор проб для оценки эффективности очистки от радиоактивных аэрозолей предусмотрен на входе в первый фильтр и выходе из последнего фильтра на каждой из трех веток. Отобранные на эти фильтры пробы анализируются на альфа-радиометре.

5. Безопасность получения микротвэлов

5.1. Технология нанесения защитных ТРИЗО покрытий на керны

Микротвэл представляет собой керны с четырехслойным покрытием, и каждый слой имеет определенное назначение:

- первый буферный слой из пористого пироуглерода (ВРУС) позволяет защитить следующие три слоя покрытий от повреждения осколками деления, обеспечивает локальный объем для газообразных продуктов деления (ГПД) и окиси углерода, образующихся при облучении, компенсирует размерные изменения керна, слой образуется при пиролизе ацетилена в среде аргона;
- второй слой из плотного изотропного пироуглерода (ИРУС) обеспечивает защиту топлива от хлористого водорода, образующегося при нанесении слоя

карбида кремния, а также являются барьером, снижающим вероятность химического воздействия ПД и СО на карбид кремния, слой образуется при пиролизе смеси пропилена и ацетилен в среде аргона;

– третий слой из плотного карбида кремния (SiC) представляет собой главный силовой слой, надежно удерживающий газообразные, летучие (I, Cs) и твердые продукты деления, слой образуется при пиролизе метилтрихлорсилана (МТХС) в среде водорода;

– четвертый (внешний) слой из плотного пироуглерода (ОРУС), предназначен для защиты силового слоя карбида кремния от механических воздействий при изготовлении топливных компактов, или шаровых топливных элементов, а также, благодаря усадке, создает сжимающие напряжения в SiC слое и повышает прочность конструкции в целом, слой создается при пиролизе смеси пропилена и ацетилен в среде аргона.

Также предусмотрено добавление геттера кислорода в первое покрытие ВРУС в двух видах, либо в виде тонкого слоя SiC, либо в виде мелкодисперсных частиц карбида кремния, распределенных в слое пироуглерода при пиролизе метилсилана.

Процессы нанесения покрытий проводятся в аппаратах «кипящего» слоя коутерах (рис. 5) в интервале температур 1100–1600 °С.

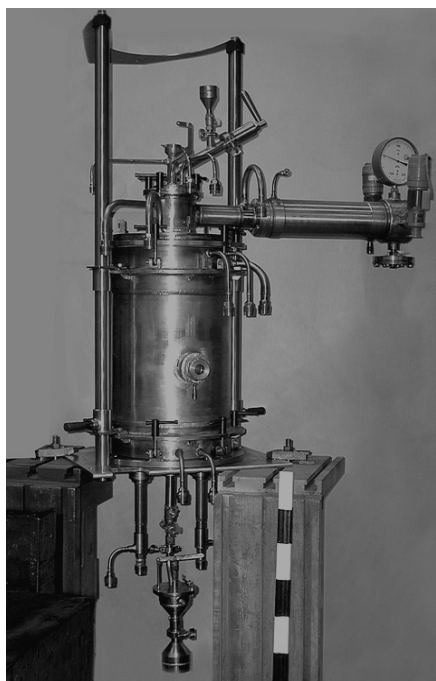


Рис. 5. Аппарат «кипящего» слоя – коутер

5.2. ЛСГО участка нанесения покрытий

Процесс нанесения ТРИЗО покрытий сопровождается образованием радиоактивных аэрозолей в результате истирания кернов в «кипящем слое» коутера. В случае нанесения пироуглеродных покрытий в отходящих газах к ним добавляются частицы сажи, водорода, аргон. При нанесении слоя карбида кремния

в газовом потоке от коутера содержится водород, хлористый водород, сажа, аэрозоли карбида кремния. Поэтому, для очистки отходящих газов участка нанесения покрытий разработаны две отдельные ветки газоочистки.

Одна используется при нанесении на керны UO_2 пироуглеродных покрытий и состоит (последовательно, по направлению движения газов) из двух регенерируемых металлотканевых фильтров, двух регенерируемых стекловолокнистых фильтров тонкой очистки (ФСТО) и фильтра ФВ-0,4. Их эффективность 90 и 99 %, соответственно. Другая ветка ЛСГО, используемая для очистки газов при нанесении покрытий из карбида кремния состоит (по направлению движения газов) из двух ФСТО, трех адсорберов для поглощения хлористого водорода (рис. 6), еще одного фильтра ФСТО, и фильтра ФВ 0,4. Ранее для улавливания HCl использовались барботеры с раствором щелочи. Для улучшения условий проведения процесса нанесения покрытий карбида кремния перешли на поглощение хлористого водорода «твердыми» поглотителями. В качестве адсорбента применяется известковый хемосорбент «Sofnolime». Таким образом, одновременно, происходит очистка и от аэрозолей и от вредных химических веществ на одной ЛСГО. В перчаточном боксе, где размещена ЛСГО, создается инертная атмосфера (аргон, азот) и непрерывно контролируется содержание кислорода, водорода и хлористого водорода.



Рис. 6. Адсорбер HCl

5.3. Система разбавления отходящих газов ЛСГО УНП

Водородсодержащий газовый поток от коутера, после прохождения газоочистки, попадает на установку эжектирования, где разбавляется воздухом до взрывобезопасной концентрации. Установка приводится в действие компрессором ВК7Е 8-270. Объемные скорости подачи сжатого воздуха от компрессора и воздуха, идущего на разбавление, измеряются

диафрагменными расходомерами и отражаются на мнемосхеме на дисплее рабочей станции оператора-технолога. Разрежение в системе (изменение расхода воздуха на разбавление) осуществляется шаровым краном с электрическим приводом оператором установки нанесения покрытий. Отходящие после системы газоочистки газы разбавляются воздухом до взрывобезопасного содержания водорода на установке эжектирования.

Система эжектирования имеет два компрессора, расположенные в подсобном помещении – основной и резервный. Воздух от компрессора очищается от пыли, влаги и следов масла на системе фильтров сжатого воздуха и поступает в эжектор. Очищенные отходящие газы после ЛСГО УНП поступают в камеру разрежения эжектора. В эту же часть эжектора поступает воздух по линии подсоса, расход которого регулируется шаровым краном с электроприводом с РСОТ УНП. Объем воздуха, поступающий на разбавление отходящих газов, от компрессора и по линии подсоса измеряется диафрагменными расходомерами и контролируется оператором на РСОТ УНП в дистанционном режиме.

В отходящих газах предусмотрен контроль содержания радиоактивных материалов.

6. Безопасность получения топливных компактов

6.1. Технология получения компактов

В соответствии с принятой на БИУ технологией изготовления топливных компактов изготовление «сырых» компактов проводится методом теплого формования смеси МТ (или МТ со «сверхпокрытием») и пресс-композиции (ПК) – смесь из порошков природного и синтетического графитов и фенолформальдегидной смолы (ФФС) в качестве связующего с последующей двухстадийной термообработкой.

Полимеризация и карбонизация связующего производится, как единая операция низкотемпературной обработки (НТО), приводящая сначала к полимеризации, а затем разложению связующего (ФФС) и удалению основной массы летучих продуктов пиролиза фенолформальдегидной смолы. Процесс НТО проводится в протоке инертного газа до максимальной температуры 850 °С с выдержкой в течение часа в горизонтальной муфельной печи.

Высокотемпературная обработка (ВТО) проводится в вакуумной высокотемпературной печи с графитовым нагревателем, смонтированной в перчаточном боксе в динамическом вакууме (не выше 100 Па) до максимальной температуры 1800 °С с часовой выдержкой. Компакты загружаются в печи НТО и ВТО в специальном графитовом контейнере.

6.2. ЛСГО смешения и формования

Смешение и формование компактов сопровождается выделением относительно незначительных количеств пыли графита, паров воды, а также паров фенола и спиртов. Поэтому для отвода отходящих газов используется только местный зонд в зоне

расположения технологического оборудования, а сама ЛСГО размещена вне бокса в ремонтной зоне. Вытяжной зонд располагается над технологическим столом. Размеры зонда определяются расположением технологического оборудования проводимой операции. Линейная скорость потока на входе в газодолжна быть не меньше 5 м/сек, что соответствует при $dy = 15$ мм объемному расходу 3,1 м³/час.

Необходимый расход воздуха над рабочим столом обеспечивает вакуумный мембранный насос НВМ-5. Разрежение в системе газоочистки, которое должно составлять не менее ~30 мм вод. ст. фиксируется вакуумметром.

Загрязненный воздух через вытяжной зонд поступает на два аэрозольных стекловолнистых фильтра тонкой очистки типа ФСТО, установленных последовательно.

Оба фильтра работают в сухом режиме фильтрации. Очищенный от аэрозолей поток поступает в угольный адсорбер, затем через расходомер и вакуумный насос в спецвентиляцию.

6.3. ЛСГО карбонизации

ЛСГО карбонизации расположена в боксе и в ремонтной зоне позади бокса и предназначена для очистки отходящих газов от радиоактивных аэрозолей и вредных газов, образующиеся при термической обработке «сырых» топливных компактов, содержащих продукты разложения фенолформальдегидной смолы: сажу, углеводороды, водород, оксид углерода, пары воды. Максимальная нагрузка на ЛСГО может достигать ~40 г твердых, жидких и газообразных отходов на одну операцию карбонизации. Большая часть отходов конденсируется на водоохлаждаемой части печи, играющей роль первой ступени газоочистки, в виде жидкой смолы (рис. 7).

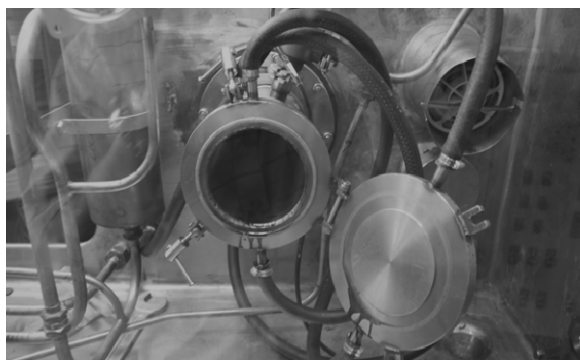


Рис. 7. Конденсация продуктов пиролиза ФФС

Сама же система газоочистки состоит из двух стекловолнистых фильтров тонкой очистки типа ФСТО (рис. 4), адсорбера с активированным углем, термохимического реактора, адсорбера с цеолитом NaA.

Стекловолоконные фильтры предназначены для очистки от радиоактивных аэрозолей, в основном сажи, в незначительном количестве выделяющейся в процессе отверждения фенолформальдегидной смолы.

Адсорбер с активированным углем предназначен для улавливания углеводородов в отходящих газах. Термохимический реактор, заполненный нанесенным на пористый носитель оксидом меди, обеспечивает разложение фенола и формальдегида до CO_2 и окисления водорода до воды. Термохимический реактор снабжен печью обогрева шахтного типа с регулятором температуры. Рабочая температура термохимического процесса разложения до 600 °С.

Адсорбер с цеолитом NaA предназначен для удаления паров воды из аргона. После адсорбера с NaA очищенный газ поступает на побудитель расхода и выбрасывается в спецвентиляцию.

7. Обращение с радиоактивными отходами

По каждому технологическому участку отходы делятся на брак, твердые (ТРО) и жидкие (ЖРО) отходы и по содержанию урана: высокое, низкое и «следовое». Под термином «следовое» понимаются содержание урана в жидких отходах, слив которых разрешен в специальную канализацию для переработки на МСП (Московская станция переработки).

Все РАО, собираются в месте первичного сбора и временного хранения, после чего, практически полностью, возвращаются в технологический цикл. В случае невозможности повторного использования, РАО передаются в хранилище временного хранения Общества для дальнейшей переработки и утилизации в соответствии со стандартом Общества.

7.1. РАО участка растворов и кернов

Этот участок отличается довольно большим разнообразием видов, как твердых, так и жидких отходов.

Твердые отходы образуют преждевременно загелировавший рабочий раствор, некондиционные сухие микросферы и спеченные керны, а также твердые отходы с низким содержанием урана, к которым относятся: сметки при сухой уборке в перчаточных боксах, ветошь от протирки оборудования, а также отработанные фильтрующие элементы ЛСГО. Содержание урана в этих отходах имеет небольшие значения. Оценочно, содержание урана в этих отходах не превышает 0,1 % от его общего использованного количества.

Основным источником жидких отходов являются растворы от промывки аппаратов и трубопроводов, используемых для приготовления технологических урановых растворов. Эти отходы относятся к отходам со средним содержанием урана (несколько граммов урана в литре раствора).

Помимо этого жидкими отходами являются:

- отработанные аммиачные растворы после промывки гель-сфер;
- конденсаты (образующиеся в основном при высушивании микросфер);
- выводимый на регенерацию перхлорэтилен (очистка перхлорэтилена проводится периодически по мере его загрязнения продуктами реакций ГМТА и мочевины).

Эти растворы относятся к низкоактивным РАО, содержание урана в них не превышает нескольких миллиграммов на литр раствора.

7.2. РАО участка нанесения ТРИЗО покрытий

Источниками радиоактивных отходов на УНП являются:

- брак и отходы, образующиеся на операциях нанесения покрытий, отделяемые от кондиционного продукта на операциях рассева и откатки. Как показал опыт, масса частиц, не соответствующих требованиям по размеру и форме, может составить от 1,3 % брак по форме частиц с ТРИЗО покрытием и около 5 % брак по размеру частиц с покрытием от общей массы покрытых частиц. В составе этих отходов обнаружены частицы, как с большей, так и с меньшей толщиной покрытий и чешуйки пироуглерода;
- реторты с забитым отложениями входным каналом подачи газа и отложениями в конусной части реторты, а также реторты с поврежденной резьбой);
- сажевые аэрозоли, уловленные регенерируемыми металлотканевыми фильтрами;
- отработанные фильтрующие элементы фильтров ФВ-0,4 и ФСТО.
- растворы от мокрой уборки боксов и оборудования перед демонтажем для ремонта, концентрация урана в них очень низкая;
- операции отмывки покрытых частиц от сажи с использованием изопропилового спирта. Загрязнения ураном изопропилового спирта не было обнаружено, а количество отделенного сажевого остатка было незначительным, и он был объединяется с сажей, выгруженной из холодильника и фильтров ЛСГО.

7.3. РАО участка топливных компактов

Источником отходов на УТК могут быть:

- просыпание частиц и пресс-композиции при дозировании, перегрузке покрытых частиц и пресс-композиции. Величина этих отходов на начальных операциях не превышала 0,1% от загрузки;
- брак от операций формования, карбонизации и высокотемпературной обработки ТК, формирующийся по результатам контроля характеристик заготовок и готовых топливных компактов. В период отработки технологии величина брака по геометрии была незначительна;
- вспомогательные материалы: ветошь, применяемая для уборки боксов, протирки приборов инструментов, для сбора проливов ЖРО, различные монтажные материалы, а также отработанные фильтрующие элементы фильтров В-0,4 и ФСТО;
- отработанный поглотитель с угольного адсорбера (загрязненный активированный уголь);
- растворы, которые будут применяться для деактивации оборудования перед ремонтом или перед заменой. Уровень загрязнения этих растворов должен быть незначительным. Экспериментальных данных нет, т. к. в данных исследованиях такие растворы не применялись;

– конденсаты смолистых веществ, образующиеся на охлаждаемых водой стенках загрузочной камере печи карбонизации.

При проведении карбонизации из компактов выделяются газы, твердые аэрозоли, летучие смолистые вещества. В ходе разработки технологии получения микросферического топлива на БИУ, одновременно, были отработаны и методы работы со всеми видами отходов.

7.4. РАО участка контроля качества

На участке контроля качества, в основном, предусмотрено использование неразрушающих методов анализа, что позволяет избежать образование радиоактивных отходов:

– МТ с частично удаленными покрытиями после процедуры «выщелачивание-сжигание-выщелачивание»;

– керны после отделения чешуек покрытий (для измерения их плотности);

– вспомогательные материалы, применяемые для уборки боксов, отработанные фильтрующие элементы ЛСГО.

– остатки растворов после проведения в них измерений концентраций ДМ и примесей;

– микрочастицы кернов в шлифовальной пасте, образующиеся при изготовлении шлифов.

8. Заключение

В соответствии с проектом технологии получения микросферического топлива для высокотемпературных газовых реакторов удалось создать комплекс мероприятий, обеспечивающий радиационно-экологическую безопасность БИУ:

– соблюдается комплекс мероприятий по безопасности при работе с радиоактивными материалами;

– применены технические решения для обеспечения безопасности при работе с взрывоопасными газами;

– созданы локальные системы для очистки от возможных выбросов в атмосферу;

– организовано обращение с радиоактивными отходами.