ПРОГРАММА

безопасного обращения с обедненным гексафторидом урана Государственной корпорации «Росатом»

Москва, 2020 г.

УТВЕРЖДАЮ
Генеральный директор Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом»

А.Е. Лихачев

«26» февраля 2020 г.

ПРОГРАММА

безопасного обращения с обедненным гексафторидом урана Государственной корпорации «Росатом»

СОГЛАСОВАНО

Первый заместитель генерального директора по операционному управлению Госкорпорации «Росатом»

А.М. Локшин

Согласовано в ЕОСДО – резолюция по письму от 31.01.2020 № 1-8/8654
« 05 » февраля 2020 г.

Президент АО «ТВЭЛ»

Н.В. Никипелова

Согласовано в ЕОСДО – письмо от 31.01.2020 № 4/1/1450
« 31 » января 2020 г.

Первый заместитель генерального директора - директор Блока по развитию и международному бизнесу Госкорпорации «Росатом»

К.Б. Комаров

Согласовано в ЕОСДО – резолюция по письму от 31.01.2020 № 1-8/8654
« 06 » февраля 2020 г.

Генеральный директор АО «Техснабэкспорт»

С.И. Полгородник

Согласовано в ЕОСДО – письмо от 07.02.2020 № 006-01/666
« 07 » февраля 2020 г.

СОГЛАСОВАНО

Директор по государственной
политике в области РАО, ОЯТ и ВЭ
ЯРОО Госкорпорации «Росатом»

О.В. Крюков

Согласовано в ЕОСДО – письмо от 05.02.2020 № 1-2/4780

« 05 » февраля 2020 г.

Директор департамента
по коммуникациям Госкорпорации
«Росатом»

А.В. Черемисинов

Согласовано в ЕОСДО – резолюция по письму от 31.01.2020 № 1-8/8654

« 05 » февраля 2020 г.

Директор департамента по
взаимодействию с регионам
Госкорпорации «Росатом»

А.В. Полосин

Согласовано в ЕОСДО – письмо от 07.02.2020 № 1-9.2/5537

« 05 » февраля 2020 г.

В разработке программы принимали участие члены рабочей группы по безопасности обращения с обедненным гексафторидом урана комиссии по экологии Общественного совета Госкорпорации «Росатом», представители общественных и экологических организации России.

Москва, 2020 г.

Оглавление

Введение 5

Общие положения 11

Общественный контроль за реализацией Программы 13

Текущая ситуация в сфере обращения с ОГФУ 14

Мероприятия Программы 17

Реализуемые и перспективные направления НИОКР в области безопасного обращения с ОГФУ 20

Использование соединений урана и фтора, полученных при реконверсии ОГФУ, в ЯТЦ и других областях 23

Заключение 25

Приложения 28

Введение

Природный уран

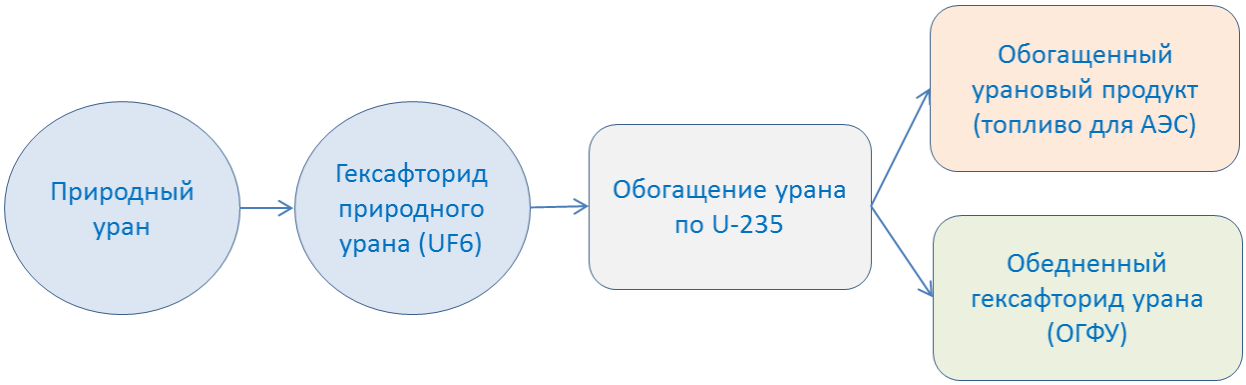
Природный уран состоит из трех радиоактивных изотопов:

- U-238 (около 99,3%)
- U-235 (около 0,7%)
- U-234 (около 0,005%)

«Полезным» изотопом урана, свойства которого используются в урановом топливе для существующих реакторов на тепловых нейтронах, является изотоп U-235. На топливе, обогащенном по U-235 до нескольких процентов, сегодня работает большинство атомных энергетических реакторов. В результате обогащения природного урана образуется обедненный уран, содержание изотопа U-235 в котором в несколько раз (в зависимости от используемой технологии обогащения) ниже природного.

Стратегия развития ядерной энергетики России до 2050 года и на перспективу до 2100 года (Стратегия-2018), одобренная Президиумом НТС Госкорпорации «Росатом» 26 декабря 2018 года, подразумевает полное использование потенциала урана (в том числе обедненного) в реакторах на быстрых нейтронах. Таким образом, обедненный уран становится сырьем для ядерной энергетики будущего.

Обогащение урана



Для проведения процесса обогащения природный уран на сублиматных производствах «Росатома» переводят в форму гексафторида (UF_6). Обогащение урана по изотопу U-235 производят на разделительных (обогатительных) производствах, в результате чего образуется обогащенный урановый продукт (ОУП) и обедненный гексафторид урана (ОГФУ). ОУП передаётся потребителю, а ОГФУ направляется на хранение с последующей переработкой.

Химические и физические свойства гексафторида урана – независимо от того, природного или обедненного, – одинаковы. Краткая сводка свойств гексафторида урана приведена в приложении 1.

Статус ОГФУ – стратегическое сырье

В соответствии с федеральным законом Российской Федерации «Об использовании атомной энергии» № 170-ФЗ от 21 ноября 1995 г. и заключением экспертов МАГАТЭ (ISBN 92-64-195254, 2001), ОГФУ не является радиоактивным отходом и рассматривается в качестве ценного энергетического ресурса – дополнительного источника урана, а также фтора.

ОГФУ относится к ядерным материалам – содержащим или способным воспроизвести делящиеся ядерные вещества, подлежащим государственному учету и контролю на федеральном и ведомственном уровнях. От природного урана ОГФУ отличается только тем, что содержание в нем изотопа U-235 в несколько раз ниже.

В частности, в значительной части как российских, так и зарубежных запасов ОГФУ (т.н. «богатых» отвалах) содержится такое количество изотопа U-235, которое делает экономически оправданным его повторное использование в качестве сырья при производстве ядерного топлива для потребностей атомной отрасли Российской Федерации. При этом экономика дообогащения ОГФУ определяется соотношением цены природного урана и затратами на доизвлечение U-235 из ОГФУ. Благодаря высокой эффективности отечественной газоцентрифужной технологии обогащения, эквивалент сырьевого урана разных марок, нарабатываемый из ОГФУ на российских разделительных предприятиях, имеет привлекательную стоимость в сравнении с ценой на природный уран, и поэтому используется при изготовлении топлива для АЭС российского дизайна. Кроме того, ОГФУ является ценным источником фтора, который может использоваться в замкнутом по фтору разделительно-сублиматном цикле.

Таким образом, ОГФУ представляет собой стратегический запас для существующей атомной энергетики России, в которой на сегодня реализован разомкнутый (или открытый) ядерный топливный цикл.

В настоящее время Российская Федерация последовательно реализует программу перехода к замкнутому ядерному топливному циклу. Запущен в промышленную эксплуатацию реактор на быстрых нейтронах БН-800, в котором начата практическая демонстрация использования обедненного

урана в составе МОКС-топлива. Сооружен завод по производству таблеточного МОКС-топлива для БН-800. Переход на загрузку активной зоны МОКС-топливом запланирован на 2022 год.

В свою очередь, обедненный уран с увеличенным относительно природного содержанием изотопа U-238 является сырьем для атомной энергетики будущего, базирующейся на реакторах на быстрых нейтронах. При этом запасы обедненного урана сейчас сконцентрированы в странах, которые эксплуатировали ранее или продолжают эксплуатировать разделительные производства - Россия, США, Франция, Китай, Германия, Великобритания и Нидерланды. По мере развития атомной энергетики на быстрых нейтронах испытывать потребность в обедненном уране начнет более широкий круг стран – в результате чего обедненный уран может стать сырьем, имеющим экспортным потенциал.

Концепция безопасного обращения с ОГФУ

Первая редакция «Концепции безопасного обращения с ОГФУ» была введена в 2006 году приказом Руководителя Федерального агентства по атомной энергии С.В. Кириенко. В результате организационных изменений, проведенных в российской атомной отрасли в связи со сменой формы собственности предприятий разделительно-сублиматного комплекса, на складах которых сосредоточены запасы ОГФУ, в 2015 году была выпущена актуализированная редакция Концепции.

За истекший с 2006 года период была выбрана и отработана в промышленном масштабе технология обесфторивания ОГФУ, а также определены направления использования фтора.

К текущему моменту, с учетом накопленного позитивного опыта обращения с ОГФУ, имеется возможность формирования полноценной программы для решения задачи полной ликвидации запасов ОГФУ, включающей **три этапа**:

I этап – отработка технологий переработки ОГФУ, выбор направлений использования фтора (*этап завершен*)**.**

В декабре 2009 года в АО «ПО «ЭХЗ» введена в эксплуатацию установка обесфторивания ОГФУ методом пирогидролиза – «W-ЭХЗ». Создание такой установки внесло основной вклад в снижение темпов накопления ОГФУ.

II – тиражирование выбранной технологии на действующей площадке (*этап в стадии реализации*).

Значительный объем ОГФУ, накопленный за всю историю атомной отрасли СССР и России, вынуждает предпринимать неотложные и действенные меры, направленные на переход от накопления к планомерному сокращению запасов ОГФУ путем его промышленной переработки до безопасных форм хранения. В этой связи в 2017 году стартовал проект по удвоению мощности установки «W-ЭХЗ».

III – переработка накопленного запаса ОГФУ (*этап в стадии инициирования*).

Тиражирование установок обесфторивания на площадках хранения запасов ОГФУ позволит полностью ликвидировать запасы ОГФУ. Однако темпы обесфторивания накопленного запаса ОГФУ в настоящее время ограничены возможностями по извлечению изотопа U-235 из «богатых» отвалов.

Настоящая Программа разработана в целях реализации «Концепции обращения с обедненным гексафторидом урана в Топливной компании Госкорпорации «Росатом»", выпущенной в 2015 году.

Общие положения

Цели и основные направления Программы

Основная цель настоящей Программы – реализация мероприятий по переходу от накопления обедненного гексафторида урана к планомерному сокращению и полной ликвидации существующих запасов ОГФУ.

Программа определяет следующие основные направления деятельности:

- использование всех «богатых» отвалов прежних лет в качестве сырья при производстве обогащенного урана для нужд атомной отрасли России, что обеспечит сокращение запасов хранящегося ОГФУ;
- тиражирование отработанных технологий реконверсии ОГФУ в оксиды обедненного урана – безопасную и компактную форму хранения, с перспективой их использования для производства топлива для реакторов на быстрых нейтронах и в других отраслях промышленности;
- максимальное использование получаемых при реконверсии фторсодержащих соединений в замкнутом по фтору разделительно-сублиматном цикле;
- оптимизация существующих методов реконверсии ОГФУ в целях повышения их экономической эффективности;
- обеспечение долговременного безопасного хранения ОГФУ путем совершенствования систем мониторинга, технического диагностирования и герметизации упаковочных комплектов (УК), заполняемых ОГФУ, - в течение периода, необходимого для полной ликвидации запасов ОГФУ;

- совершенствование технологий безопасного хранения ОГФУ;
- сокращение с 4-х до 2-х числа разделительных предприятий, на которых осуществляется хранение ОГФУ;
- кратное сокращение площадей хранения ОГФУ на разделительных предприятиях.

Нормативная база Программы

Реализация Программы базируется на действующем российском законодательстве в области атомной энергии:

- Федеральный закон Российской Федерации "Об использовании атомной энергии", № 170-ФЗ от 21.11.1995;
- Федеральный закон Российской Федерации "Об охране окружающей природной среды", № 7-ФЗ от 10.01.2002;
- Федеральный закон Российской Федерации "О радиационной безопасности населения", № 3-ФЗ от 09.01.1996;
- Федеральный закон Российской Федерации "О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения", № 52-ФЗ от 30.03.1999;
- Постановление Правительства Российской Федерации "Положение о системе государственного учета и контроля ядерных материалов", № 352 от 06.05.2008;
- Нормы радиационной безопасности СанПиН 2.6.1.2523-09 (НРБ-99/2009);
- Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности СП 2.6.1.2612-10 (ОСПОРБ-99/2010).

Общественный контроль за реализацией Программы

Программой предусматриваются следующие механизмы общественного контроля за ее реализацией:

- Мониторинг хода реализации основных мероприятий программы в рамках рабочей группы по ОГФУ при комиссии по экологии Общественного совета Госкорпорации «Росатом» (периодичность регулярного мониторинга определяется председателем рабочей группы).
- Рассмотрение результатов реализации программы Общественным советом Госкорпорации «Росатом» (на ежегодной основе).
- Организация технических и пресс-туров представителей общественности и СМИ на предприятия Топливной компании, на которых реализуется программа (на регулярной основе).

Текущая ситуация в сфере обращения с ОГФУ

Объемы ОГФУ

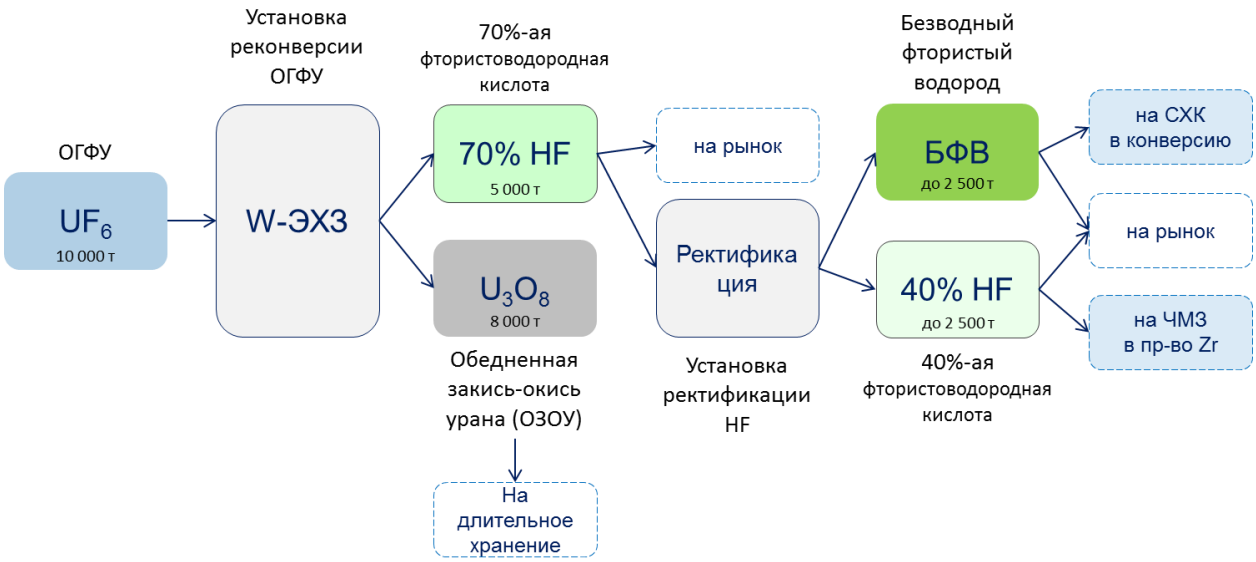
ОГФУ образуется и хранится на 4-х предприятиях разделительно-сублиматного комплекса «Росатома» – в АО «Уральский электрохимический комбинат» (АО «УЭХК», г. Новоуральск Свердловской области), АО «Производственное объединение Электрохимический завод» (АО «ПО ЭХЗ», г. Зеленогорск Красноярского края), АО «Сибирский химический комбинат» (АО «СХК», г. Северск Томской области) и АО «Ангарский электролизный химический комбинат (АО «АЭХК», г. Ангарск Иркутской области). Суммарные запасы ОГФУ на указанных предприятиях на начало 2020 г. превышают 1 млн тонн (по ОГФУ); данные о запасах ОГФУ приведены в Приложении 2.

Дообогащение ОГФУ

Дообогащение «богатых» отвалов прежних лет осуществляется с целью доизвлечения U-235 и его использования для нужд атомной отрасли РФ. В результате склады накопленного «старого» ОГФУ планомерно сокращаются, а вновь образующийся ОГФУ конечного обогащения затаривается в новые упаковочные комплекты (емкости), что в итоге повышает безопасность хранения ОГФУ.

Переработка (обесфторивание) ОГФУ

В АО «ПО ЭХЗ» в 2009 г. введено в эксплуатацию производство реконверсии (обесфторивания) ОГФУ, в результате деятельности которого обедненный уран переводится из формы гексафторида в безопасную инертную, то есть химически малоактивную, нелетучую и нерастворимую оксидную форму – обедненную закись-окись урана (ОЗОУ). Указанное производство построено по контракту с французской энергетической компанией COGEMA и по аналогии с ее названием во Франции («W») именуется «W-ЭХЗ». Мощность указанного производства составляет 10 тысяч тонн ОГФУ в год. На рисунке приведен материальный баланс производства:



В результате эксплуатации «W-ЭХЗ» на конец 2019 г. сокращение запасов ОГФУ в АО «ПО ЭХЗ» составило свыше 90 тысяч тонн. Сокращение запасов ОГФУ на других разделительных предприятиях будет начато после ввода дополнительных производств «W» в АО «ПО ЭХЗ» и на других предприятиях – см. раздел «Мероприятия программы».

Экономика обесфторивания ОГФУ

Затраты на переработку ОГФУ на установках типа «W» (даже с учетом положительного экономического эффекта от реализации фторсодержащих продуктов и экономии на изготовлении тары под ОГФУ) превышают затраты на его хранение. В результате эксплуатация производств «W» в ближайшее десятилетие носит затратный характер и имеет исключительно **экологическую направленность**.

При этом в долгосрочной перспективе, благодаря более совершенной конструкции упаковочных комплектов и оптимизированной технологии хранения ОЗОУ, достигается дополнительная экономия затрат на хранение обедненного урана. При использовании в будущем обедненного урана в качестве сырья для топлива реакторов на быстрых нейтронах указанные затраты могут быть компенсированы стоимостью этого сырья.

Мероприятия Программы

Горизонт и ключевые вехи Программы

С учетом объема накопленных в Российской Федерации запасов обедненного гексафторида урана (свыше 1 млн тонн по ОГФУ) и длительности периода, необходимого для их полной ликвидации, в качестве горизонта Программы принимается 2057 год.

Ключевые вехи Программы:

- 2024 год – прекращение роста запасов ОГФУ за счет увеличения мощности «W-ЭХЗ» до 20 тыс. тонн ОГФУ в год;
- 2027-2028 годы - начало снижения запасов ОГФУ за счет ввода в эксплуатацию установок «W-УЭХК» мощностью 20 тыс. тонн ОГФУ в год, увеличения мощности «W-ЭХЗ» до 30 тыс. тонн ОГФУ в год и ввода в строй установки «НХП-СХК»[1] с планируемой мощностью до 12 тыс. тонн ОГФУ в год;
- 2035-2038 годы – сокращение числа площадок с запасами ОГФУ (освобождение площадок АО «АЭХК» и АО «СХК»);
- 2057 год – полная ликвидация запасов ОГФУ на всех площадках.

Мероприятия Программы

Основные мероприятия по реализации Программы приведены в Таблице 1.

[1] Технология пламенного обесфторивания ОГФУ, разрабатываемая для установки «НХП-СХК», в 2020 г. находится на стадии НИОКР. Указанные даты приведены для сценария успешного завершения НИОКР в планируемые сроки и достижения заданных параметров технологии. В противном случае возможно увеличение мощности установки «W-УЭХК» до 30 тыс. тонн ОГФУ в год.

Таблица 1 – Основные мероприятия по реализации Программы

Направление	Сроки реализации	Объем финансирования, млрд. руб.	Ожидаемый результат
1 Расширение проектов по переработке ОГФУ			
1.1 Увеличение мощности установки "W-ЭХЗ" до 20 000 тонн ОГФУ/год (проект «W2-ЭХЗ»)	2017-2023 гг.	Приведен в приложении 3	• Увеличение темпов переработки ОГФУ, переход от накопления к снижению склада ОГФУ • Полное обеспечение потребностей АО «ТВЭЛ» в безводном фтористом водороде (БФВ) • Сокращение удельных издержек на переработку ОГФУ
1.2 Создание установки по обесфториванию ОГФУ в АО «УЭХК» мощностью 20 000 тонн ОГФУ/год (проект «W-УЭХК»)	2020-2026 гг.	Приведен в приложении 3	
1.3 Увеличение мощности установки "W-ЭХЗ" до 30 000 тонн ОГФУ/год (проект «W3-ЭХЗ»)	2020-2028 гг.	Приведен в приложении 3	
2 Сокращение числа площадок хранения ОГФУ			
2.1 Перемещение ОГФУ с площадки АО «АЭХК» на площадку АО «ПО ЭХЗ»	к 2035 г. (приложение 4)	В рамках текущей деятельности предприятий	Полное освобождение площадки АО «АЭХК» от ядерных материалов
2.2 Перемещение ОГФУ с площадки Завода разделения изотопов (ЗРИ) АО «СХК» на площадки АО «ПО ЭХЗ» / АО «УЭХК»	к 2038 г. (приложение 4)	В рамках текущей деятельности предприятий	Полное освобождение площадки Завода разделения изотопов (ЗРИ) АО «СХК» от ядерных материалов

Продолжение таблицы 1

Направление	Сроки реализации	Объем финансирования, млрд. руб.	Ожидаемый результат
3 Обеспечение долговременного безопасного хранения ОГФУ			
3.1 Эксплуатация и совершенствование систем мониторинга, контроля состояния и обращения с упаковочными комплектами (УК) для ОГФУ, включая обращение с дефектными УК, выявленными при хранении	Постоянно	Финансирование осуществляется в рамках текущей деятельности предприятий	1. Обеспечено безопасное хранение контейнеров с ОГФУ в течение 80-ти лет и более. 2. Усовершенствованы технологии переработки ОГФУ в безопасные формы хранения.
3.2 Реализация текущих и перспективных НИОКР в области безопасного обращения с ОГФУ,			
в т. ч.: • разработка и испытания конструкции защитного контейнера для перемещения контейнеров с ОГФУ с большим сроком хранения на значительные расстояния; • разработка технологии подготовки контейнеров с ОГФУ большим сроком хранения к перемещению на значительные расстояния.	2019-2021 гг.	0,03	1. Разработан, изготовлен и испытан защитный контейнер для перемещения ОГФУ с большим сроком хранения. 2. Разработана технология подготовки контейнеров с ОГФУ с большим сроком хранения к перемещению на значительные расстояния.

Реализуемые и перспективные направления НИОКР в области безопасного обращения с ОГФУ

Реализуемые и перспективные НИОКР в области безопасного обращения с ОГФУ направлены на:

- совершенствование систем безопасного хранения ОГФУ;
- совершенствование технологий переработки ОГФУ в безопасные формы хранения;
- разработка альтернативных (отечественных) технологий обесфторивания ОГФУ, в т.ч. пламенной технологии для установки «НХП-СХК»;
- создание технологии безопасного перемещения больших количеств ОГФУ на значительные расстояния.

Совершенствование систем хранения ОГФУ

Основными направлениями НИОКР в области безопасного хранения ОГФУ являются:

- совершенствование систем мониторинга, технического диагностирования и контроля состояния упаковочных комплектов (УК), технологий обращения с дефектными УК, выявленными при хранении.
- продолжение исследований в обоснование возможности продления назначенного срока эксплуатации УК российского производства свыше 80-ти лет и установления для контейнеров импортного производства (типа 48Y) назначенного срока эксплуатации, равного 80-100 годам.

Совершенствование технологий переработки ОГФУ

Основными направлениями НИОКР в области технологий переработки ОГФУ в безопасные формы хранения являются:

- исследования по созданию новых экономически привлекательных технологий перевода ОГФУ в экологически более безопасные формы, пригодные для хранения или коммерческого использования;
- определение возможности перевода установок типа «W» на полный рецикл 40%-ой фтористоводородной кислоты, т.е. на выпуск только безводного фтористого водорода;
- разработка новых коррозионностойких конструкционных материалов для обеспечения установок типа «W» отечественными комплектующими и запасными частями.

Разработка альтернативных технологий обесфторивания ОГФУ

Примером НИОКР в области разработки альтернативных (отечественных) технологий обесфторивания ОГФУ до безопасных форм хранения является совместный проект АО «СХК» (г. Северск) и ООО «Новые химические продукты» (г. Санкт-Петербург). Цель НИОКР заключается в создании технологии реконверсии ОГФУ в пламени водородсодержащего топлива и кислородсодержащего окислителя. НИОКР включает следующие работы:

- создание пилотной установки реконверсии ОГФУ в пламени водородсодержащего топлива и кислородсодержащего окислителя;
- отработка технологических режимов реконверсии ОГФУ, проверка технических решений, закладываемых в схему переработки ОГФУ;
- оценка финансово-экономических показателей промышленной установки для принятия решения об экономической целесообразности промышленного внедрения.

- разработка и испытания конструкции защитного контейнера для перемещения контейнеров с ОГФУ с большим сроком хранения на значительные расстояния (между площадками разделительных предприятий);
- разработка технологии подготовки контейнеров с ОГФУ большим сроком хранения к перемещению на значительные расстояния.

Использование соединений урана и фтора, полученных при реконверсии ОГФУ, в ЯТЦ и других областях

Как уже отмечалось выше, ОГФУ является сырьевым ресурсом – одним из дополнительных источников урана, а также источником фтористого водорода и фтора.

Оксиды урана

Использование обедненного урана, полученного при реконверсии ОГФУ, планируется в долгосрочной перспективе для топливообеспечения реакторов на быстрых нейтронах. Запасы обедненного урана позволят обеспечить потребности «быстрой» энергетики на ближайшие тысячелетия. Оксиды обедненного урана, получаемые при переработке ОГФУ, имеют статус ядерно-чистого сырья, следовательно, их отнесение к категории радиоактивных отходов (то есть материалов, дальнейшее использование которых не предусматривается) необоснованно. Для целей настоящей Программы в качестве оптимальной стратегии дальнейшего обращения с оксидами обедненного урана, получаемыми в результате переработки ОГФУ, на горизонте до ~2100 гг. – т.е. до полного перехода атомной энергетики России на эксплуатацию реакторов на быстрых нейтронах и уточнения потребности в обедненном уране – принимается долговременное хранение.

Соединения фтора

Безводный фтористый водород (HF), получаемый в результате переработки ОГФУ, используется в производстве элементного фтора (F_2) для реализации замкнутого по фтору сублиматно-разделительного цикла. С учетом расширения проектов по переработке ОГФУ это позволит полностью обеспечить потребности конверсионного передела Топливной компании во фторе, исключив необходимость эксплуатации производств безводного фтористого водорода по технологии разложения флюорита (CaF_2), а также закупок импортного сырья (плавикового шпата) и серной кислоты.

Заключение

Результаты Программы

При реализации настоящей Программы должны быть решены следующие задачи:

- максимально полное вовлечение U-235 из запасов ОГФУ («богатых» отвалов) в ядерный топливный цикл для удовлетворения потребностей атомной отрасли России;
- расширение действующих проектов в области переработки ОГФУ до безопасной формы хранения – создание дополнительных производств обесфторивания «W», наращивание темпов и совершенствование технологий переработки ОГФУ;
- переход от постоянного накопления склада ОГФУ к его планомерной ликвидации;
- сокращение числа площадок хранения обедненного урана с 4-х (УЭХК, ПО ЭХЗ, СХК и АЭХК) до 2-х (УЭХК и ПО ЭХЗ);
- кратное сокращение площадей хранения обедненного урана;
- обеспечение долговременного безопасного хранения ОГФУ и продуктов его переработки на складах предприятий.

Успешное решение описанных задач приведет **к полной ликвидации запасов ОГФУ в масштабах отрасли**. Их решение должно сопровождаться максимальным сокращением эксплуатационных издержек, связанных с

хранением и переработкой ОГФУ, в целях снижения затрат на производство продукции обогатительного передела Топливной компании.

Экологический эффект Программы

Экологический эффект от реализации Программы обусловлен комплексом мероприятий, направленных на исключение экологических рисков воздействия ОГФУ на окружающую среду и население:

- производственные площадки 2-х предприятий (АО «СХК» и АО «АЭХК») будут **полностью освобождены** от запасов обедненного урана **в любой форме**;
- на 2-х других предприятиях (АО «УЭХК» и АО «ПО ЭХЗ») будет **полностью ликвидирован склад** обедненного урана **в форме ОГФУ**;
- ОГФУ текущей наработки в АО «УЭХК» и АО «ПО ЭХЗ» будет **напрямую с разделительного каскада** подаваться на обесфторивание на установки «W» для перевода в безопасную оксидную форму хранения (ОЗОУ);
- соединения фтора, извлекаемые в результате переработки ОГФУ, будут **повторно использоваться для конверсии** сырьевого природного урана, в результате чего будет реализовано полное замыкание ядерного топливного цикла по фтору.

Источники финансирования Программы

В качестве источников финансирования мероприятий Программы, направленных на расширение переработки ОГФУ, рассматриваются консолидированный инвестиционный ресурс и средства специальных резервных фондов Госкорпорации «Росатом». Одним из наиболее значимых факторов наполнения инвестиционного ресурса и формирования средств специальных резервных фондов Госкорпорации «Росатом» являются контракты АО «Техснабэкспорт» и АО «ТВЭЛ».

Затраты на текущие работы по безопасному обращению с ОГФУ, реализуемые на предприятиях, включаются в себестоимость продукции разделительных производств Топливной компании.

Инициирование и реализация проектов и мероприятий осуществляется в соответствии со стандартом Госкорпорации «Росатом» по управлению инвестиционной деятельностью.

Перечень приложений

1. **Приложение 1:**

   Основные свойства гексафторида урана и закиси-окиси урана

2. **Приложение 2:**

   2.1 Объемы хранения и площади хранения ОГФУ на предприятиях Топливной компании

   2.2 Прогнозные темпы ликвидации запасов ОГФУ на установках обесфторивания «W»

3. **Приложение 3:**

   3.1 Дорожные карты реализации проектов «W2-ЭХЗ», «W-УЭХК» и «W3-ЭХЗ»

4. **Приложение 4:**

   4.1 Прогноз изменения объемов ОГФУ на предприятиях Топливной компании в результате реализации программы

Приложение 1

ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА ГЕКСАФТОРИДА УРАНА И ЗАКИСИ-ОКИСИ УРАНА

А. Физические свойства гексафторида урана

Гексафторид урана (UF6) - это соединение шестивалентного урана и фтора. В данном химическом соединении могут присутствовать различные изотопы урана, среди которых практическое значение имеют природные изотопы: уран-238, уран-235 и уран-234. Фтор присутствует в виде единственного стабильного природного изотопа фтор-19. В составе смеси природного урана находится от 0,71% до 0,73% изотопа урана- 235. Обогащенный уран содержит более 0,73% изотопа уран-235. Обедненный уран содержит менее 0,71% изотопа уран-235.

В технологических процессах обогащения урана данное соединение находится в газообразной форме. Газообразный гексафторид урана — тяжелый бесцветный газ. В процессах транспортировки и хранения гексафторид урана находится в твердом состоянии. В твердом состоянии гексафторид урана представляет собой почти белое плотное кристаллическое вещество, внешний вид которого зависит от технологии получения: от частиц нерегулярной формы, напоминающих порошок каменной соли, до бесформенной твердой массы.

- При нормальных условиях (т.е. при атмосферном давлении 760 мм рт. ст. и температуре 20°С) гексафторид урана находится в твердом состоянии[2].
- Переход гексафторида урана в жидкое состояние возможен только при повышенном давлении и температуре.

Для детального понимания состояний, в которых может находиться гексафторид урана при различных условиях, необходимо обратиться к так называемой фазовой диаграмме, представленной ниже на рисунке 1. На фазовой диаграмме показаны области существования однокомпонентного (т.е. без примесей, чистого) гексафторида урана в твердом, жидком и газообразном состоянии в зависимости от температуры и давления. Тройная точка, т.е. область одновременного равновесного существования всех трех фаз, реализуется при давлении 152 кПа (1140 мм рт. ст.) и температуре 64,1°С.

[2] Парциальное давление газообразного гексафторида урана над поверхностью твердой фазы в таких условиях составляет около 11 кПа (около 0,1 атм).

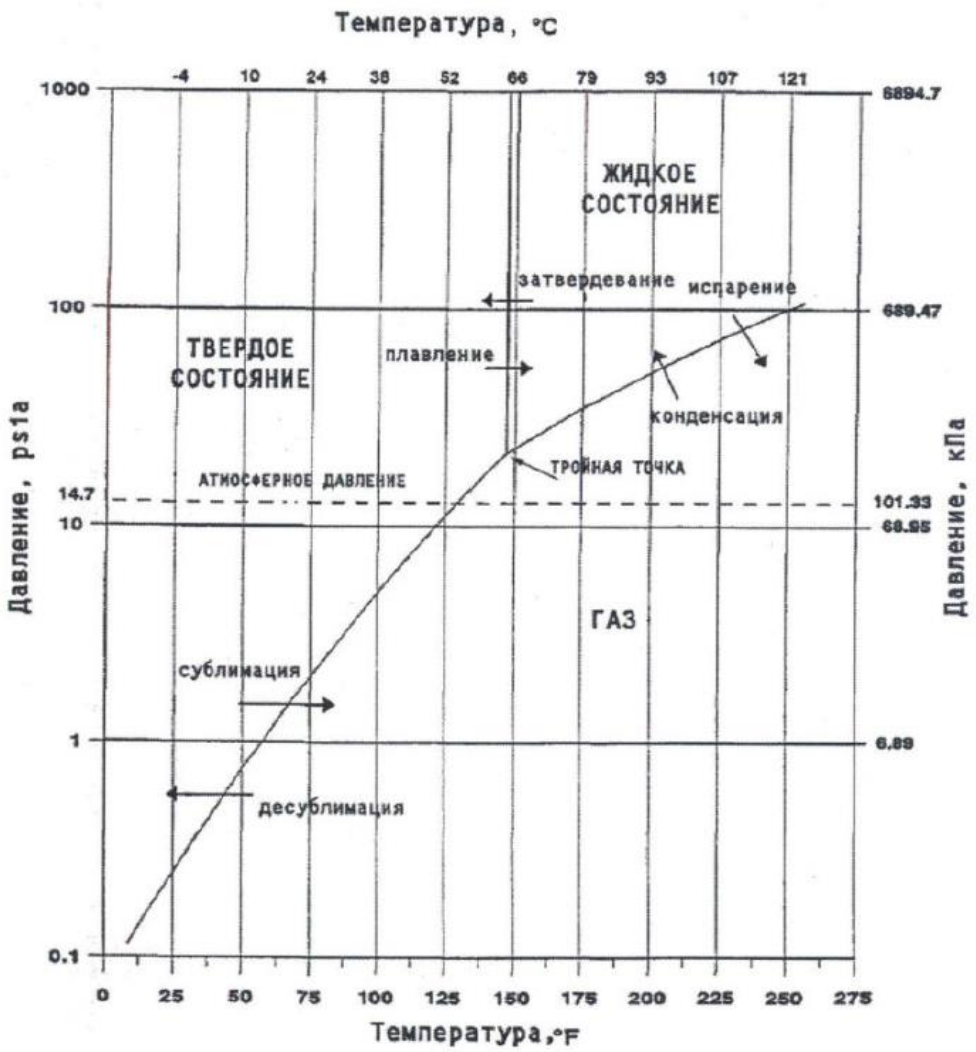


Рисунок 1 – Фазовая диаграмма гексафторида урана

Если температура и/или давление выше соответствующих величин для тройной точки, то при таких условиях может существовать либо жидкость, либо газ (твердая фаза не может существовать). Если температура и/или давление ниже соответствующих уровней для тройной точки, то может существовать либо твердая, либо газовая фазы, но не жидкость. Так, при атмосферном давлении (которое ниже давления в тройной точке, как видно из рисунка) гексафторид урана может существовать только в твердом или газообразном состоянии (в зависимости от температуры системы). При температуре 64,1°C и давлении выше 152 кПа жидкая и твердая фазы могут находиться в равновесии, а при наличии нагрева или охлаждения при этой температуре будут происходить процессы плавления или затвердевания гексафторида урана, соответственно.

- В отличие от большинства кристаллических веществ, для гексафторида урана в нормальных условиях характерен прямой фазовый переход из твердого состояния в газообразное, минуя жидкое (сублимация), и обратный переход из газообразного в твердое (десублимация).

Давление насыщенных паров гексафторида урана очень сильно зависит от температуры. Как представлено в таблице 1 ниже, разброс давления насыщенных паров твердого UF_6 в диапазоне от отрицательных температур (-45°С) до температуры тройной точки (64,1°С) превышает 6 000 раз:

Таблица 1 – Зависимость давления насыщенных паров UF_6 над твердой плоской поверхностью гексафторида урана от температуры

Температура, °С	Давление, кПа	Давление, доля от атмосферного	Плотность паров, г/см^3	Содержание, кг в 1 м^3	Содержание, моль в 1 м^3
-45,0	0,025	0,0002	4,699E-06	0,005	0,01
-40,0	0,046	0,0005	8,328E-06	0,008	0,02
-35,0	0,081	0,0008	1,438E-05	0,014	0,04
-30,0	0,139	0,0014	2,421E-05	0,024	0,07
-25,0	0,233	0,0023	3,984E-05	0,040	0,11
-20,0	0,383	0,0038	6,416E-05	0,064	0,18
-15,0	0,617	0,0061	1,013E-04	0,101	0,29
-10,0	0,974	0,01	1,568E-04	0,157	0,45
-5,0	1,509	0,01	2,383E-04	0,238	0,68
0,0	2,298	0,02	3,563E-04	0,356	1,01
5,0	3,442	0,03	5,241E-04	0,524	1,49
10,0	5,076	0,05	7,593E-04	0,759	2,16
15,0	7,377	0,07	1,084E-03	1,084	3,08
20,0	10.571	0,10	1,528E-03	1,528	4,34
25,0	14,950	0,15	2,124E-03	2,124	6,03
30,0	20,877	0,21	2,917E-03	2,917	8,29
35,0	28,804	0,28	3,959E-03	3,959	11,25
40,0	39,287	0,39	5,314E-03	5,314	15,10
45,0	53.002	0,52	7,057E-03	7,057	20,05
50,0	70.758	0,70	9,275E-03	9,275	26,35
55,0	93,522	0,92	1,207E-02	12,072	34,30
56,5	101,322	1,00	1,302E-02	13.021	36,99
60,0	122,429	1,21	1,557E-02	15,566	44,22
64,1	151,640	1,50	1,905E-02	19,046	54,11

- Из данных таблицы следует, что даже при относительно высоких (т.е. характерных для летних периодов температурах +20…+25°С) давление насыщенных паров гексафторида урана не превышает 10…15% от атмосферного. В зимних же условиях, т.е. при температурах ниже 0°С, давление UF_6 в практическом смысле отсутствует.

Ниже в таблице 2 приведена сводка некоторых других физических свойств гексафторида урана.

Таблица 2 – Некоторые физические свойств гексафторида урана

№	Название	Значение
1.	Точка сублимации при 101 кПа (760 мм рт. ст.)	56,6°С
2.	Тройная точка	152 кПа (1140 мм рт. ст.), 64,1°С
3.	Плотность твердого (при 20°С) жидкого (при 64,1°С)	 5,09 г/см^3 3,65 г/см^3
4.	Теплота сублимации (при 64,1°С)	135,373 кДж/кг
5.	Теплота плавления (при 64,1°С)	54,661 кДж/кг
6.	Теплота испарения (при 64,1°С)	81,643 кДж/кг
7.	Критическое давление	4610 кПа (34 577 мм рт. ст.)
8.	Критическая температура	230,2°С
9.	Удельная теплоемкость твердого (при 27°С) жидкого (при 72°С)	 0,477 кДж/(кг-К) 0,544 кДж/(кг-К)

B. Химические свойства гексафторида урана

Гексафторид урана не вступает в химические реакции с кислородом, азотом, диоксидом углерода и сухим воздухом, но все эти газы растворяются в жидком и в гораздо меньшей степени в твердом UF_6.

Гексафторид урана разлагается при разогреве с образованием токсичных паров фтористого водорода. Реагирует с ароматическими соединениями типа бензола, толуола и ксилола, бурно реагирует с водой и этанолом. Агрессивен в отношении многих металлов, пластиков, резины и полимерных покрытий. ГФУ создает риск при вдыхании: опасное загрязнение воздуха достигается довольно быстро при испарении этого вещества при 20°C. Оказывает разъедающее действие на глаза, кожу и дыхательные пути, может оказывать действие на почки, приводя к поражению почек и повреждению тканей.

Газообразный UF_6 очень быстро реагирует с парами воды. То же самое происходит и на незащищенной поверхности твердого гексафторида урана. Одна из важнейших задач при обращении с гексафторидом урана - исключить его взаимодействие с влагой (это важно как в технологических процессах, так и при его хранении). Это одна из причин использования герметичного оборудования и контейнеров, исключающих взаимодействие гексафторида урана и паров воды в окружающем воздухе.

При повышенных температурах газообразный гексафторид урана взаимодействует с парами воды следующим образом:

$$\underset{\text{газ}}{UF_6} + \underset{\text{пары}}{2H_20} \rightarrow \underset{\text{твердое}}{UO_2F_2} + \underset{\text{газ}}{4HF} + Q \text{ (тепло)}$$

Тепловой эффект указанной реакции составляет 288,424 кДж на каждый килограмм прореагировавшего газообразного гексафторида урана. Уравнение этой реакции позволяет определить минимальное количество воды, необходимое для полной гидратации заданного количества гексафторида урана.

Поскольку продукты реакции хорошо взаимодействуют с водой, образуя гидраты, то при избытке воды ход реакции несколько другой. При температурах около комнатной, в зависимости от относительной влажности воздуха, продуктами реакции будут гидраты уранилфторида UO_2F_2 и аэрозоль $HF\text{-}H_2O$, который выглядит как белое облако. Типичная реакция в присутствии избытка воды представляется следующим образом:

$$\underset{\text{газ}}{UF_6} + \underset{\text{пары}}{(4 + 4x)H_20} \rightarrow \underset{\text{твердое}}{UO_2F_2 \bullet 2H_20} + \underset{\text{туман}}{4HF \bullet xH_2O} + Q \textit{ (тепло)}$$

Тепловой эффект этой реакции почти на порядок выше чем в предыдущей реакции, и составляет 2458,582 КДж на килограмм UF_6.

В том случае, если влажность мала и туман из HF-H2O не формируется, то мелкодисперсный аэрозоль UO_2F_2 образует лишь слабую дымку.

Уранилфторид UO_2F_2 представляет собой растворимое в воде твердое вещество желтого цвета. Цвет может изменяться (до розового) в зависимости от степени гидратации и размера частиц вещества.

- Особенностью взаимодействия твердого гексафторида урана с водой является то, что образующийся в ходе реакции уранилфторид UO_2F_2 формирует защитный слой, являющийся диффузионным барьером и препятствующий поступлению воды к поверхности собственно UF_6. Этот эффект приводит к существенному замедлению скорости реакции. Поэтому скорость гидролиза твердого гексафторида урана довольно низкая, в то время как газообразный UF_6 взаимодействует с водой почти мгновенно.

Гексафторид урана взаимодействует с большинством металлов, образуя фторид металла и малолетучий или нелетучий низковалентный фторид урана. Для работы с гексафторидом урана обычно применяют следующие стойкие к его воздействию металлы: никель, никелированную сталь, сплав монеля (медно-никелевый сплав), медь и некоторые сплавы алюминия. Фторсодержащие пластики и тефлон устойчивы к гексафториду урана.

C. Результаты радиоэкологического мониторинга при транспортировании, обращении и хранении ОГФУ

Показатель	Результат измерений	Контрольный уровень
Мощность эквивалентной дозы гамма-излучения при транспортировании контейнеров с ОГФУ	0,2 мкЗв/ч [3]	< 0,3 мкЗв/ч * * Уровень естественного гамма-фона не нормируется. Приведено характерное фоновое значение для регионов присутствия
Мощность эквивалентной дозы гамма-излучения на складах хранения контейнеров с ОГФУ	0,1…0,2 мкЗв/ч	< 0,3 мкЗв/ч * * Уровень естественного гамма-фона не нормируется. Приведено характерное фоновое значение для регионов присутствия
Альфа-активность проб атмосферного воздуха, отобранного на территории складов ОГФУ	0,2…0,3 мБк/м^3	0,33 мБк/м^3
Суммарная альфа-активность воды в системе оборотного водоснабжения промплощадок предприятий	< 0,05 Бк/л	0,28 Бк/л
Содержание урана в системе оборотного водоснабжения промплощадок предприятий	0,4…0,9 мкг/л	2,2 мкг/л

[3] Измерение МЭД выполнено 22.12.2019 в ходе разгрузки судна «Михаил Дудин» в Большом порту Санкт-Петербурга в присутствии депутатов Законодательного собрания Санкт-Петербурга, членов правительства города и членов Общественного совета Госкорпорации «Росатом»

D. Описание вероятных сценариев разгерметизации контейнеров и возможных последствий

D1. Сценарий незначительной разгерметизации контейнера - трещина сварного шва корпуса выше границы между твердым ОГФУ и свободным пространством внутри контейнера

Исходные данные. При установке контейнера на хранение из-за удара произошла разгерметизация контейнера. Разгерметизация произошла из-за трещины сварного шва над свободным пространством контейнера. Объем незаполненной гексафторидом урана части контейнера равен 0,5 м3. Относительная влажность воздуха 85%, температура воздуха 20°С.

Расчет параметров облака первичного выброса осуществляется по методике [1]. Результаты расчета параметров облака первичного выброса:

Объем облака первичного выброса:	0,06 м3
Температура газовой смеси первичного выброса:	54,4°С
Масса уранилфторида, поступившего в атмосферу в облаке первичного выброса:	6,6 г
Масса фтористого водорода, поступившего в атмосферу в облаке первичного выброса:	1,7 г
Масса гексафторида урана, поступившего в атмосферу в облаке первичного выброса:	7,6 г

В случае, если разгерметизация контейнера не будет оперативно выявлена и не будут приняты меры по ликвидации разгерметизации, после разового выброса будет иметь место стационарная эмиссия опасных химических веществ (ОХВ). Описание расчетных параметров стационарной эмиссии ОХВ приведено ниже в сценарии D2.

D2. Сценарий незначительной разгерметизации контейнера – образование сквозного отверстия по причине удара и последующей коррозии

Исходные данные. При длительном хранении контейнера из-за повреждения корпуса и последующей коррозии произошла разгерметизация контейнера в области ниже границы твердого ОГФУ. Диаметр отверстия составляет 2,5 см. Толщина стенки контейнера 1,6 см. Относительная влажность воздуха 85%, температура воздуха 20°С.

Расчет параметров стационарного потока эмиссии ОХВ осуществляется по методике [1].

Результаты расчета параметров стационарного потока эмиссии ОХВ:

Общая эмиссия уранилфторида из отверстия:	$6{,}6 \cdot 10^{-4}$ г/с
Общая эмиссия фтористого водорода из отверстия:	$1{,}7 \cdot 10^{-4}$ г/с

Если отверстие не будет своевременно выявлено и ликвидировано, то общая эмиссия уранилфторида и фтористого водорода при указанной влажности и температуре воздуха составит 57 и 15 граммов в сутки, соответственно.

D3. Сценарий существенной разгерметизации контейнера (первичный выброс)

Исходные данные. В силу чрезвычайных обстоятельств произошло разрушение части корпуса контейнера. До разрушения объем незаполненной гексафторидом урана части контейнера был равен 0,5 м3. Относительная влажность воздуха 85%, температура воздуха 20°С.

Расчет параметров облака первичного выброса осуществляется по методике [1]. Результаты расчета параметров облака первичного выброса:

Объем облака первичного выброса:	0,56 м3
Температура газовой смеси первичного выброса:	54,4°С
Масса уранилфторида, поступившего в атмосферу в облаке первичного выброса:	62,8 г

Масса фтористого водорода, поступившего в атмосферу
в облаке первичного выброса: 16,3 г

Масса гексафторида урана, поступившего в атмосферу
в облаке первичного выброса: 691,3 г

В данном сценарии приведены только характеристики облака первичного выброса. Расчет стационарной эмиссии ОХВ приведен ниже в сценарии D4.

D4. Сценарий существенной разгерметизации контейнера (стационарная эмиссия)

Исходные данные. В силу чрезвычайных обстоятельств произошло разрушение части корпуса контейнера. До разрушения объем незаполненной гексафторидом урана части контейнера был равен 0,5 м3. После разрушения открытая свободному контакту с воздухом поверхность твердого ОГФУ в поврежденном контейнере равна 100 см^2; характерный линейный размер обдуваемой ветром открытой поверхности твердого ОГФУ в разрушенном контейнере равен 10 см (вдоль по направлению ветра). Часть твердого ОГФУ просыпалась на подстилающую поверхность. Площадь просыпанного ОГФУ равна 1000 см^2; характерный линейный размер обдуваемой ветром открытой поверхности твердого ОГФУ, рассыпанного по поверхности, равен 100 см (вдоль по направлению ветра). Относительная влажность воздуха 85%, температура воздуха 20°С. Скорость ветра на уровне обдуваемого ветром твердого ОГФУ равна 9,0 м/с.

Расчет параметров стационарного потока эмиссии ОХВ для указанных условий осуществляется по методике [1].

Результаты расчета параметров стационарного потока эмиссии ОХВ:

Общая эмиссия уранилфторида из контейнера: $4{,}3 \cdot 10^{-2}$ г/с

Общая эмиссия фтористого водорода из контейнера: $1{,}1 \cdot 10^{-2}$ г/с

При неизменных условиях общая эмиссия уранилфторида и фтористого водорода из поврежденного контейнера при указанной влажности и температуре воздуха составит 152 и 40 граммов в час, соответственно.

Общая эмиссия уранилфторида от просыпанного ОГФУ: $7{,}0 \cdot 10^{-1}$ г/с

Общая эмиссия фтористого водорода от просыпанного ОГФУ: $1{,}8 \cdot 10^{-1}$ г/с

При неизменных условиях общая эмиссия уранилфторида и фтористого водорода от просыпанного ОГФУ (с подстилающей поверхности) при указанной влажности и температуре воздуха составит 2534 и 658 граммов в час, соответственно.

Итого общая стационарная эмиссия уранилфторида и фтористого водорода от обоих участков (из разрушенного контейнера и от просыпанного ОГФУ с подстилающей поверхности) составит:

Общая эмиссия уранилфторида: $7{,}5 \cdot 10^{-1}$ г/с

Общая эмиссия фтористого водорода: $1{,}9 \cdot 10^{-1}$ г/с

При неизменных условиях общая стационарная эмиссия уранилфторида и фтористого водорода от обоих участков составит 2687 и 698 граммов в час, соответственно.

Использованный источник:

[1]. Методика прогноза масштаба заражения (загрязнения) окружающей среды при разрушении наполненных обедненным гексафторидом урана контейнеров, хранящихся на открытых складах. ФГУП «УЭХК», Институт промышленной экологии Уральского отделения Российской академии наук. Екатеринбург, 2003 г.

E. Свойства закиси-окиси урана

- Закись-окись урана или ЗОУ (в литературе также используются другие наименования - оксид урана(VI)-диурана(V), триурана октаоксид и др.) — неорганическое бинарное соединение урана с кислородом, в котором металл имеет двойственную валентность: 5 (два атома) и 6 (один атом). Брутто-формула соединения: U_3O_8.
- Из всех соединений урана, встречающихся в природе, закись-окись урана распространена наиболее широко и является главным компонентом основного рудного минерала урана — настурана. В свободном состоянии представляет собой зелёно-чёрное кристаллическое твердое вещество.
- Термически и химически устойчивое соединение, из всех оксидов урана это соединение наиболее стабильно. Закись-окись урана термически стабильна до температур порядка 1000°C.
- Закись-окись урана химически инертна и нерастворима в воде. ЗОУ растворима только в концентрированных сильных кислотах. Разбавленная серная и соляная кислоты очень слабо реагируют с закисью-окисью урана даже при нагревании.
- Как и для любых соединений урана, для ЗОУ характерна слабая радиоактивность. Химические и физические свойства закиси-окиси природного и обедненного урана (получаемой при обесфторивании обедненного гексафторида урана) полностью идентичны, за исключением радиоактивности. Радиоактивность закиси-окиси обедненного урана (ОЗОУ) примерно в 2 раза ниже, чем закиси-окиси природного урана, за счет пониженного содержания изотопа U-234.
- Закись-окись природного урана является основным компонентом урановых концентратов, служащих сырьем для производства топлива для ядерных реакторов на тепловых нейтронах, формирующих основную долю парка реакторов АЭС в России и за рубежом настоящее время. Закись-окись обедненного урана рассматривается в качестве сырья для перспективных ядерных реакторов на быстрых нейтронах – основы ядерной энергетики в недалеком будущем.