

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования

**НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

# **ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ УЧЕТА И КОНТРОЛЯ ПРЕДПРИЯТИЯ ЯДЕРНО- ТОПЛИВНОГО ЦИКЛА**

методические указания по выполнению лабораторной работы по  
дисциплине «Методы и процедуры учета и контроля»

Томск 2017

## **Цель работы**

Ознакомиться с основными приемами проектирования системы учета и контроля ядерных материалов на предприятии ядерно-топливного цикла.

## **Задание**

1. Выбор гипотетического объекта ЯТЦ
2. Описание технологического процесса на объекте
3. План объекта
4. Описание потоков ЯМ
5. Категорирование ЯМ
6. Выделение ЗБМ и КТИ
7. Описание УЕ в каждой ЗБМ
8. Обзор доступных типов и моделей, выбор и обоснование пломбирочных систем для каждой УЕ
9. Обзор доступных типов и моделей, выбор и обоснование СКД для каждой УЕ
10. Выбор и обоснование методов и средств измерения на КТИ, описание возможных погрешностей измерения
11. На примере одной ЗБМ: описание процедур ФИ (выборка, комиссии, план ФИ), внешней и внутренней транзакции с оформлением типовой учетной и отчетной документации
12. Описание технологий автоматизации УиК на предприятии, освещение вопросов защиты информации в КСУиК

## ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

### Стадии топливного цикла и задачи учета и контроля (задачи измерения ЯМ)

**Добыча руды и очистка.** Уран и торий, содержащиеся в руде, а также в промежуточных продуктах, перерабатываемых на горно-металлургических предприятиях, не подлежат Государственному учету и контролю.

**Обогащение.** Необходимы анализы для следующих целей:

- мониторинг степени обогащения;
- учет количества ЯМ и измерение обогащения конечного продукта;
- анализ (определение количества) ЯМ, остающихся в процессе.

**Производство таблеток (переработка  $UF_6$  в  $UO_2$ ).** Включает превращение  $UF_6$  в  $UO_2$  и приготовление таблеток (пропитка порошка, прессование и отжиг таблеток, обработка поверхности). Требуется:

- анализ исходного  $UF_6$  для определения его массы и степени обогащения;
- анализ продукции  $UO_2$  на степень обогащения;
- измерение массы делящихся изотопов, складированных под контролем;
- анализ таблеток  $UO_2$  — определение массы делящихся изотопов и степени обогащения;
- анализ материала, остающегося в установке.

**Производство топливных сборок.** Изготовление твэлов (набивка трубок таблетками, герметизация твэлов), изготовление ТВС. Требуется:

- измерение топливных стержней для контроля ЯМ и качества продукции (измерение массы ЯМ на единицу длины с целью определения степени однородности и выбраковки дефектных изделий).

**Выработка энергии.** Требуется:

- контрольные измерения свежих топливных сборок (измерение массы ЯМ на единицу длины);

- контрольные измерения отработавших сборок с целью проверки глубины выгорания и времени охлаждения.

**Переработка отработавшего топлива.** Включает растворение ТВС, транспортировку раствора по трубопроводам, разделение по фракциям (уран, плутоний, продукты деления). Требуется:

- анализ концентрации ЯМ в растворах;
- мониторинг ионообменных колонн и хода процессов разделения элементов;
- определение количества ЯМ, остающихся в установке:
  - мониторинг содержания Pu в кальцинаторах;
  - анализ раствородержающих цистерн с целью определения объемов растворов и содержания в них ЯМ;
  - анализы растворов в процессе переработки (контроль концентрации ЯМ);
  - определение количества ЯМ, остающихся в установках.

**Переработка отходов:** анализ содержания U и Pu в отходах высокой и низкой плотности (дефектные изделия, отходы механической обработки и др.).

**Транспортировка ЯМ с объекта на объект:** проверка персонала и транспортных средств на содержание ЯМ.

Рассмотрение задач учета и контроля на разных стадиях топливного цикла приводит к выводу, что измерениям подлежат ЯМ, находящиеся в разных состояниях и формах, в разных сочетаниях с другими материалами, с разным уровнем радиоактивности. Для выполнения этих задач применяются различные методы и аппаратура.

Как следует из рассмотрения, ядерные материалы располагаются на различных установках ядерного топливного цикла.. Сведения о запасах ЯМ на различных объектах даны в табл. 1.

При надзоре за учетом и контролем ЯМ выполняют два вида измерений:

- учетные измерения - измерения количественных характеристик ЯМ и продуктов, результаты которых вносятся в учетные документы. Учетные измерения проводит персонал организаций при обращении с ЯМ во время технологического процесса.
- подтверждающие измерения - результаты которых используются для подтверждения всех или некоторых количественных характеристик или атрибутивных признаков ЯМ или учетных единиц, Подтверждающие измерения могут проводиться персоналом организации (например, при проведении физической инвентаризации), а также инспекторами при проверках наличия ЯМ.

Таблица 1

**Распределение запасов ЯМ на объектах ЕВРАТОМ, %**

Тип установки	Обед- ненны й уран	Естест- венный уран	Низко- обога- щенны й уран	Высоко- обога- щенный уран	Плуто- ний	То- рий
Исследовательские лаборатории	1	0	0	4	0	1
Исследовательские реакторы и критические сборки	0	0	0	43	1	1
Установки по обогащению	51	9	1	0	0	0
Энергетические реакторы	1	14	47	17	36	0
Хранилища	46	19	43	22	58	0
Места нахождения вне установок: рудники и др.	0	5	0	0	0	98

Для проведения контрольных измерений выбирают учетные единицы из разных категорий материалов. Внутри каждой категории подвергают контролю несколько учетных единиц с разными массами, чтобы охватить весь диапазон возможных масс.

Контрольные измерения обычно проводят с целью определения численного значения количества ЯМ. При этом стремятся обеспечить наивысшую возможную точность результата. Однако существует ряд задач контроля, требующих лишь качественной информации об образцах, предварительные сведения о которых могут быть неоднозначными. К их числу относятся:

- определение характеристик немаркированных или ошибочно маркированных образцов;
- установление присутствия ЯМ в образцах по принципу «да/нет»;
- проведение быстрой инвентаризации;
- подтверждение получателем данных поставщика и др.

Такие задачи требуют качественных или количественных измерений, проводимых с помощью методов неразрушающего анализа. Если при измерении определяют только характерный признак или качество ЯМ, его можно отнести к категории качественных (атрибутивных) измерений. К категории количественных измерений проводимых с невысокой точностью, относят определение характеристик отходов, контроль за перемещением ЯМ, измерение отложений ЯМ в технологических емкостях и трубопроводах.

Особый тип контрольных мероприятий на ядерных объектах — проверочные инспекции. Оборудование, применяемое для инспекций и установленное на конкретных предприятиях, значительно различается. Инспектор рассматривает более широкий круг ЯМ, посещая разные объекты. Он использует данные, полученные с помощью нескольких подобных приборов неразрушающего контроля, а не одного прибора. Инспектор перевозит свою аппаратуру с объекта на объект, что вызывает необходимость частых ее перекалибровок.

## **СПРАВОЧНЫЕ ДАННЫЕ**

1. Аномалия в учете и контроле ядерных материалов - недостача (излишек) ядерных материалов, ошибки в учетных и отчетных документах, повреждения, отказы средств контроля доступа к ядерным материалам, нарушения порядка производства, использования, передач ядерных материалов.
2. Атрибуты - характеристики предметов (например, идентификатор предмета, местоположение предмета, состояние устройства индикации вмешательства, которым снабжен предмет, геометрические размеры, нетто- и брутто-масса предмета и т.п.), допускающие проверку их наличия средствами визуального и инструментального контроля.
3. Атрибутивные признаки - признаки, однозначно подтверждающие наличие или отсутствие какого-либо атрибута предмета.
4. Баланс ядерных материалов - сравнительный итог зарегистрированного и имеющегося в наличии количества ядерных материалов.
5. Вид ядерных материалов - ядерные материалы, различающиеся по изотопному составу и количеству.
6. Зона баланса материалов - территориально и административно установленная в пределах ядерной установки или пункта хранения ядерных материалов зона для учета и контроля ядерных материалов, в которой на основании измерений определяется количество ядерных материалов при каждом их перемещении в зону и из нее и подводится баланс ядерных материалов за установленный период времени.

7. Инвентаризационная разница - разница между фактически наличным и документально зарегистрированным количеством ядерного материала.
8. Ключевая точка измерений - место, где ядерные материалы могут быть измерены для определения их потока или наличного количества.
9. Контроль ядерных материалов - контроль за наличием и перемещением ядерных материалов, включающий контроль доступа к ядерным материалам, оборудованию и информации, наблюдение за ядерными материалами, проверку санкционированного размещения и перемещения ядерных материалов.
10. Межбалансовый период - период времени между двумя последовательными физическими инвентаризациями.
11. Подтверждающие измерения - измерения, результаты которых используются для подтверждения всех или некоторых количественных характеристик и (или) атрибутивных признаков ядерных материалов, учетных единиц, продуктов.
12. Система измерения ядерных материалов - совокупность средств измерений ядерных материалов и организационных мероприятий, позволяющих получать на основе выполняемых измерений данные: о количестве, элементном и изотопном составах ядерных материалов, находящихся и производимых в ЗБМ, получаемых в ЗБМ или отправляемых из ЗБМ; о фактическом наличии ядерных материалов в ЗБМ при проведении физических инвентаризаций; о погрешностях значений каждой измеряемой величины ядерного материала в ЗБМ.
13. Специальные неядерные материалы - материалы, не содержащие или не способные воспроизвести ядерные материалы, но которые могут быть

использованы в устройствах, предназначенных для осуществления взрывного выделения внутриядерной энергии (ядерного взрыва).

14. Средства контроля доступа - технические средства, предназначенные для обнаружения несанкционированных изъятия, использования, перемещения ядерных материалов, проникновения в зону ограниченного доступа. Подразделяются на системы наблюдения и пломбы

15. Учет ядерных материалов - определение количества ядерных материалов, составление, регистрация и ведение учетных и отчетных документов.

16. Учетная единица - поддающийся идентификации предмет, содержащий ядерные материалы, (имеющий индивидуальный номер или другой идентификатор), целостность которого остается неизменной в течение установленного периода времени.

17. Учетные данные - характеристики ядерных материалов, используемые в учетных документах.

18. Учетные измерения - измерения количественных характеристик ядерных материалов, продуктов, результаты которых вносятся в учетные документы.

19. Фактически наличное количество ядерного материала - измеренная или иначе определенная в соответствии с установленными процедурами масса ядерного материала, фактически имеющегося в наличии в данное время.

20. Физическая инвентаризация - определение фактического количества ядерных материалов, имеющих в наличии в ЗБМ.