**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО**

**ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ**



|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | **НАЦИОНАЛЬНЫЙ****СТАНДАРТ****РОССИЙСКОЙ****ФЕДЕРАЦИИ** | **ГОСТ Р8.            –202***(Проект, вторая редакция)* |

**Государственная система обеспечения**

**единства измерений**

**Учет и контроль ядерных материалов**

**Межлабораторные испытания стандартных образцов при малом количестве лабораторий**

***Настоящий проект стандарта не подлежит применению до его утверждения***

****

**Москва**

**Стандартинформ**

**20\_\_\_**

**Предисловие**

1  РАЗРАБОТАН Акционерным обществом «Высокотехнологический научно-исследовательский институт неорганических материалов имени академика А.А. Бочвара»

2  ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 053 «Основные нормы и правила по обеспечению единства измерений»

3  УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 201   г. №

4  ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

*Правила применения настоящего стандарта установлены в статье 26 Федерального закона от 29 июня 2015 г. № 162-ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации». Информация об измене­ниях к настоящему стандарту публикуется в ежегодном (по состоянию на 1 января текущего года) информационном указателе «Национальные стандарты», а официальный текст изменений и попра­вок — в ежемесячном информационном указателе «Национальные стандарты». В случае пере­смотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ближайшем выпуске информационного указателя «Национальные стандарты». Соответствующая информация, уведомление и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет (*[*www.gost.ru*](http://www.gost.ru)*).*

© Стандартинформ, оформление 202

Настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии.

**Содержание**

[1 Область применения 1](#_Toc72258098)

[2 Нормативные ссылки 1](#_Toc72258099)

[3 Термины, определения и сокращения 2](#_Toc72258100)

[4 Принципы выбора лаборатории, устанавливающей аттестуемые характеристики 12](#_Toc72258101)

[5 Организация межлабораторного сличения и планирование испытаний 20](#_Toc72258102)

[6 Установление аттестуемых характеристик по результатам измерений в одной лаборатории без подтверждающих измерений 24](#_Toc72258106)

[7 Установление аттестуемых характеристик по результатам измерений в одной лаборатории с подтверждающими измерениями 26](#_Toc72258107)

[8 Установление метрологических характеристик СО по результатам измерений нескольких лабораторий 28](#_Toc72258108)

[Приложение А (рекомендуемое) Пример оформления программы экспериментов по испытаниям стандартного образца или аттестованного объекта системы учета и контроля ядерных материалов 32](#_Toc72258111)

[Приложение Б (рекомендуемое) Пример применения алгоритмов расчета аттестованного значения 37](#_Toc72258112)

[Библиография 42](#_Toc72258113)

**Введение**

Действующий ГОСТ 8.532 по межлабораторной аттестации может ,быть применен при условии участия в аттестации стандартных образцов не менее 10 лабораторий. Для стандартных образцов ядерных материалов, используемых при измерениях в целях учета и контроля, это условие, как правило, невыполнимо. Транспортировка образцов урановых материалов связана с большими затратами и сложностями, а в лабораториях используют различные методики (методы) измерений, сильно различающиеся по приписанным значениям погрешностей. Для плутониевых материалов количество лабораторий, имеющих возможность проводить испытания, менее 10. В этом случае единственно возможным способом испытаний стандартных образцов ядерных материалов является способ межлабораторных испытаний при малом количестве лабораторий участников.

В мировой практике испытаний стандартных образцов наивысшей точности этот способ является основным. В испытаниях участвует либо одна лаборатория, либо значение аттестуемой характеристики устанавливается по результатам измерений в малом количестве лабораторий, а часть лабораторий участвует только в подтверждающих измерениях для установления отсутствия грубых промахов.

При межлабораторных испытаниях стандартных образцов по ГОСТ 8.532 аттестуемые характеристики и их погрешности устанавливают по приведенному в стандарте универсальному статистическому алгоритму. При межлабораторных испытаниях стандартных образцов с малым количеством лабораторий участников центр тяжести всей процедуры ложится не на правильность статистического алгоритма, а на квалификацию экспертов, проводящих организацию межлабораторного эксперимента и установление аттестуемых характеристик. В связи с этим настоящий стандарт устанавливает необходимость создания совета экспертов, а также направления его деятельности.

Термин «испытания», использованный в настоящем стандарте, не меняет сути процесса установления аттестованного значения. Все изложенное в настоящем стандарте по отношению к стандартным образцам применимо также по отношению к аттестованным объектам.

В настоящем стандарте приведены три варианта испытаний стандартных образцов. Первый вариант – испытания стандартного образца только в одной лаборатории. Он применяется в том случае, если испытательная лаборатория владеет методикой (методом) измерений, имеющей погрешность намного меньшую, чем погрешности методик в остальных лабораториях. В этом случае не проводят подтверждающие измерения.

Второй вариант – испытания стандартного образца в одной испытательной лаборатории с подтверждающими измерениями. Он применяется в том случае, если погрешность методики (метода) измерений в испытательной лаборатории в меньшей степени отличается от погрешностей методик в остальных лабораториях, или при равенстве погрешностей методик испытательная лаборатория имеет больший опыт и квалификацию в проведении измерений аттестуемой характеристики.

Третий вариант – установление значения аттестуемой характеристики стандартного образца по результатам измерений в нескольких лабораториях. Он применяется в том случае, если методики (методы) измерений во всех лабораториях имеют близкие погрешности и невозможно выделить приоритетную лабораторию.

**НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙФЕДЕРАЦИИ**

**Государственная система обеспечения единства измерений**

**Учет и контроль ядерных материалов**

**Межлабораторные испытания стандартных образцов при малом количестве лабораторий**

**Дата введения – 202   –     –**

# 1 Область применения

Настоящий стандарт распространяется на процедуры межлабораторных испытаний стандартных образцов и аттестованных объектов, предназначенных для применения в системе государственного учета и контроля ядерных материалов и устанавливает порядок организации и проведения указанных испытаний при малом количестве лабораторий, участвующих в проведении испытаний, а также алгоритмы установления значений аттестуемых характеристик и их погрешностей.

Примечание – В системе государственного учета и контроля ядерных материалов существуют измерения вне сферы государственного регулирования обеспечения единства измерений, т.е. не входящие в перечень, утвержденный приказом Госкорпорации «Росатом» от 09.12.2020 № 1/14-НПА [4].

# 2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 8.532 Государственная система обеспечения единства измерений. Стандартные образцы состава веществ и материалов. Межлабораторная метрологическая аттестация. Содержание и порядок проведения работ

ГОСТ Р 8.932–2017 Государственная система обеспечения единства измерений. Требования к методикам (методам) измерений в области использования атомной энергии

ГОСТ Р ИСО 5725-1–2002 Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Часть 1. Основные положения и определения

Примечание – При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов в информационной системе общего пользования – на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет или по ежегодному информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по выпускам ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты» за текущий год. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана недатированная ссылка, то рекомендуется использовать действующую версию этого стандарта с учетом всех внесенных в данную версию изменений. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, то рекомендуется использовать версию этого стандарта с указанным выше годом утверждения (принятия). Если после утверждения настоящего стандарта в ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, внесено изменение, затрагивающее положение, на которое дана ссылка, то это положение рекомендуется применять без учета данного изменения. Если ссылочный стандарт отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, рекомендуется применять в части, не затрагивающей эту ссылку.

# 3 Термины, определения и сокращения

3.1 В настоящем стандарте применены термины стандартный образец, результат (измерения величины), опорное значение (величины), погрешность (результата измерения), правильность измерений, точность измерений, случайная погрешность (измерения), систематическая погрешность (измерения), условия воспроизводимости (измерений), воспроизводимость (измерений), условия повторяемости (измерений), косвенное измерение по рекомендациям [3], а также следующие термины с соответствующими определениями:

3.1.1

**методика (метод) измерений:** Совокупность конкретно описанных операций, выполнение которых обеспечивает получение результатов измерений с установленными показателями точности.

[Федеральный закон [1], статья 2, перечисление 11]

3.1.2

**аттестация методик (методов) измерений:** Исследование и подтверждение соответствия методик (методов) измерений установленным метрологическим требованиям к измерениям.

[Федеральный закон [1], статья 2, перечисление 1]

3.1.3

**показатель точности измерений:** Установленная характеристика точности любого результата измерений, полученного при соблюдении требований и правил данной методики измерений.

[ГОСТ Р 8.563–2009, статья 3.4]

Примечание – В настоящем стандарте применен также термин «метрологические характеристики МВИ», использованный в утвержденных приказом Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом» метрологических требованиях, применяемым в области использования атомной энергии [2].

3.1.4

**система государственного учета и контроля ядерных материалов;** СГУиК ЯМ: Система мероприятий, включающая в себя сбор, регистрацию и анализ информации о количестве, качественном составе и перемещении ядерных материалов и осуществляющаяся путем сплошного непрерывного документального учета всех хозяйственных и технологических операций с ядерными материалами на основе результатов измерений характеристик ядерных материалов, а также проверки достоверности этой информации и ее соответствия фактическому наличию ядерных материалов в местах их нахождения.

[ГОСТ Р 8.609-2018, статья 3.2]

3.1.5

**аттестованный объект системы государственного учета и контроля ядерных материалов;** АО СГУиК ЯМ: Стандартный образец состава с установленными значениями величин, характеризующих содержание и (или) изотопный состав определенных компонентов в ядерных материалах, подлежащих учету и контролю, применяемый для метрологического обеспечения и измерений при учете и контроле ядерных материалов.

[ГОСТ Р 8.609-2018, статья 3.3]

3.1.6

**учет ядерных материалов:** Определение количества ядерных материалов, составление, регистрация и ведение учетных и отчетных документов.

[ГОСТ Р 8.609-2018, статья 3.5]

3.1.7

**контроль ядерных материалов:** Административный контроль за наличием и перемещением ядерных материалов с целью предотвращения их несанкционированного использования.

[ГОСТ Р 8.609-2018, статья 3.6]

3.1.8

**подтверждающие измерения:** Измерения, результаты которых используют для подтверждения всех или некоторых учетных данных учетных единиц, партий ядерных материалов.

[ГОСТ Р 8.609-2018, статья 3.14]

3.1.9 **чистая воспроизводимость:** Воспроизводимость измерений, обусловленная всеми влияющими на нее факторами, за исключением факторов, влияющих на сходимость измерений.

Примечание – Понятие использовано в ГОСТ Р 8.932–2017 (подраздел 7.9).

3.1.10

**повторяемость измерений:** Прецизионность измерений в условиях повторяемости измерений.

Примечание — Наряду с термином повторяемость измерений используется термин сходимость измерений.

[РМГ 29–2013 [3], статья 5.11]

Примечание – В настоящем стандарте далее использован термин «сходимость».

3.1.11 **параллельные определения:** Многократное проведение в условиях сходимости всей совокупности операций (включая операции подготовки образца или навески к измерению), предусмотренных методикой измерений, заканчивающееся вычислением результата.

3.1.12 **приписанная характеристика погрешности измерений:** Характеристика погрешности любого результата совокупности измерений, полученного при соблюдении требований и правил методики (метода) измерений.

Примечание – Как правило, приводят в свидетельстве об аттестации методики (метода) измерений.

3.1.13 **метролог**: Специалист (группа специалистов), осуществляющий планирование экспериментальных исследований, метрологическую экспертизу при разработке методики (метода) измерений, контроль за проведением экспериментальных исследований, обработку их результатов, необходимые расчеты и оформление отчета (протокола) при использовании методики (метода) измерений.

3.1.14 **межлабораторный эксперимент:** Экспериментальные исследования, проводимые несколькими лабораториями независимо друг от друга с целью испытаний стандартных образцов.

3.1.15 **межлабораторные сличения:** Межлабораторный эксперимент, проводимый для предварительной оценки составляющих погрешности методик (методов) измерений, применяемых в разных лабораториях.

3.1.16 **межлабораторные испытания стандартного образца:** Межлабораторный эксперимент, проводимый с целью испытаний стандартного образца.

3.1.17 **межлабораторные испытания стандартного образца с подтверждающими измерениями:** Межлабораторные испытания, при которых одна из лабораторий является испытательной, а другие лаборатории – подтверждающими.

3.1.18 **межлабораторные испытания стандартного образца с установлением метрологических характеристик стандартного образца по результатам измерений нескольких лабораторий:** Межлабораторные испытания, при которых аттестованное значение стандартного образца и его погрешность устанавливают по результатам измерений всех участвующих лабораторий.

3.1.19 **совет экспертов:** Группа высококвалифицированных специалистов, хорошо знакомых с компетентностью лабораторий и применяемыми в них методиками (методами) измерений, назначаемая организацией-разработчиком стандартного образца.

3.1.20 **испытательная лаборатория:** Лаборатория, которая устанавливает для испытуемого стандартного образца значение аттестуемой характеристики и ее погрешности.

3.1.21 **подтверждающая лаборатория:** Лаборатория, результаты измерений аттестуемой характеристики стандартного образца которой используются не для установления ее значения, а для обеспечения уверенности в том, что измерения в испытательной лаборатории не имеют грубых промахов.

3.1.22

**ядерный материал;** ЯМ: Материал, содержащий или способный воспроизвести делящиеся (расщепляющиеся) ядерные вещества.

[ГОСТ Р 8.609-2018, статья 3.1]

3.1.23

**испытания стандартных образцов в целях утверждения типа**: Работы по определению метрологических и технических характеристик однотипных стандартных образцов.

[ГОСТ 8.753-2011, статья 3.1]

3.2 В настоящем стандарте применены следующие сокращения:

ГСО – государственный стандартный образец;

МВИ – методика (метод) измерений;

НСП – неисключенная систематическая составляющая погрешности;

ОСО – отраслевой стандартный образец;

СКО – среднее квадратическое отклонение;

СО – стандартный образец или аттестованный объект системы государственного учета и контроля ядерных материалов;

ЯМ – ядерный материал.

# 4 Принципы выбора лаборатории, устанавливающей аттестуемые характеристики

4.1 В настоящем разделе приведены простые примеры, иллюстрирующие принципы выбора лаборатории, устанавливающей аттестуемые характеристики, для проведения межлабораторного эксперимента.

4.2 Для планирования экспериментальных исследований, необходимых при установлении метрологических характеристик СО – аттестованного значения и погрешности, следует оценить все составляющие погрешности измерений.

**4.3 Составляющие погрешности измерений при проведении межлабораторного эксперимента**

Погрешность результатов измерений, полученных при испытаниях СО, можно выразить в виде

, (4.1)

где  \* – знак суперпозиции;

 – составляющая погрешности, обусловленная случайными факторами, действующими в условиях сходимости, когда результаты измерений получают по одной и той же методике, на одном и том же образце (пробе) или однородных образцах, в одинаковых условиях (практически в одно и то же время, одним исполнителем, с применением одного и того же средства измерений). Эта составляющая погрешности является случайной и может быть уменьшена путем проведения многократных измерений;

 – составляющая погрешности, обусловленная факторами, действующими только в условиях воспроизводимости измерений (без учета действия факторов в условиях сходимости), когда результаты измерений получают разные исполнители, в разное время, с использованием разных экземпляров (или даже типов) средств измерений, различных модификаций методики измерений. Эффективная оценка этой составляющей возможна только при условии выполнения большого количества параллельных определений в условиях сходимости. При этом если измерения проводятся в одной лаборатории, не все из перечисленных факторов оказывают влияние на разброс результатов измерений. Действительно, в одной лаборатории измерения проводят в разное время и разные исполнители, но обычно на одном и том же приборе;

 – систематическая составляющая погрешности (характеристика правильности измерений).

**4.4 Относительность понятий «случайная» и «систематическая» погрешность**

По отношению к совокупности результатов измерений, полученных в условиях сходимости (одно и то же время, прибор, исполнители),  – систематическая погрешность. По отношению к совокупности результатов измерений, полученных в условиях межлабораторной воспроизводимости,  – случайная погрешность.

4.4.1 Относительность понятий «случайная» и «систематическая» погрешность на примере с использованием градуировки

Если при измерениях в течение длительного времени используется одна и та же градуировочная зависимость, то погрешность ее построения является систематической по отношению ко всем полученным результатам. Если градуировочная зависимость строится заново при каждом измерении, то погрешность ее построения войдет в случайную погрешность результата измерения.

4.4.2 Относительность понятий «случайная» и «систематическая» погрешность применительно к 

Пусть в *m* лабораториях по одной и той же методике на одном и том же материале с принятым опорным значением определяемой величины получены *m* оценок , как разности между опорным и измеренным значениями. Тогда *i*-я оценка является оценкой систематической погрешности *i*-ой лаборатории. Но эта же оценка является *i*-ой реализацией случайной величины на множестве всех лабораторий. В качестве характеристик этой случайной величины можно принять математическое ожидание
М() и СКО на множестве всех лабораторий – *σ*(), которое будет характеризовать разброс возможных реализаций . Математическое ожидание М(), в свою очередь, равно .

**4.5  Оценка характеристики σсх составляющей погрешности , обусловленной случайными факторами, действующими в условиях сходимости**

Характеристика *σсх*может быть получена из результатов многократных измерений материала СО. Детальное рассмотрение таких исследований описано в разделе 5. При оценке характеристики σсх составляющей погрешности , следует учитывать два обстоятельства. Первое – в общем случае для разных лабораторий и даже для разных исполнителей составляющая погрешности ****может быть разной. Второе – для некоторых методик (например, гравиметрических) невозможно дважды измерить одну и ту же пробу. Если материал СО неоднороден, то неоднородность вносит свой вклад в значение σсх. Влияние неоднородности можно учесть путем проведения эксперимента по методу однофакторного дисперсионного анализа и последующего учета рассчитанной характеристики неоднородности.

**4.6 Оценка характеристики  погрешности , рассматриваемой как случайной**

По результатам специально спланированных многократных измерений можно оценить и характеристику  погрешности , рассматриваем*ую* как случайн*ую* величин*у*.

4.7Для оценки составляющ*их* погрешности по 4.5 и 4.6 необходимо варьировать (рандомизировать) все факторы, влияющие на эти составляющие погрешности.

Рандомизация факторов, влияющих на результаты измерений, может потребовать очень большого числа измерений, которые практически нельзя выполнить. В этом случае необходимо иное решения − предлагается использовать дополнительную информацию, позволяющую оценить влияние на погрешность результатов измерений, если не всех, то хотя бы части факторов внутрилабораторной и межлабораторной воспроизводимости, и затем расчетным путем (суммированием составляющих погрешности от разных факторов) определить погрешность результатов измерений характеристик СО. Детальное описание такого подхода приведено в разделе 8. Здесь рассмотрены два простых примера использования дополнительной информации.

4.7.1 Пример межлабораторного эксперимента между двумя лабораториями, проводящими измерения по одной МВИ

Принятые допущения:

- В каждой лаборатории в условиях сходимости было проведено по *n* измерений материала СО и в результате получены средние значения Х1 и Х2 и оценки СКО  и . При этом отличие  и  друг от друга оказалось незначимым (например, это было установлено путем проверки по критерию Фишера);

- Используя дополнительные данные, расчетным способом оценили СКО воспроизводимости, которое оказалось равным  (и, естественно, для обеих лабораторий одинаковым, поскольку используется одна и та же методика);

- Распределения погрешностей  и ** – нормальные.

В этом случае погрешность результата измерений Хi при доверительной вероятности Р для *i*-ой лаборатории равна

, (4.2)

где  – квантиль распределения Стьюдента с *νeff* степенями свободы;

 *u(Р,∞)* – квантиль нормального распределения.

Для значения Р = 0,95 и нормального закона распределения при бесконечном числе степеней свободы *u(Р,∞)* = 1,96 (при расчетном значении  можно считать, что оно получено при бесконечном числе степеней свободы). Значение  в зависимости от количества степеней свободы *νeff* = *n-1* *приведены в справочниках по математической статистике.*

Необходимо отметить, что формула (4.2) суммирует две случайные величины, формула является приближенной (точной асимптотически при *n* стремящемся к бесконечности).

Для практических расчетов применение формулы (4.2) (*как и ряда других в настоящем стандарте)* вполне оправдано простотой формулы и малой погрешностью расчета.

Для данного материала СО в первой лаборатории получен результатХ1±Δ1; во второй лаборатории получен результат Х2 ±Δ2.

Прежде всего необходимо проанализировать разность средних значений Х1 и Х2. Если  равно нулю, то при сделанных предположениях разность средних значений можно считать незначимо отличающейся от нуля при уровне значимости *Q*, если выполняется неравенство

. (4.3)

Эта формула математически не точна, коэффициент Стьюдента, входящий в нее, должен соответствовать некоему эффективному числу степеней свободы *νeff*, которое меньше чем (2*n*-2), но при большом числе *n* этой разницей можно пренебречь.

Т. к. ≠ 0, математическое ожидание разности ⎪Х1 – Х2⎪ заведомо отлично от нуля, то с помощью критерия, аналогичного (4.3), можно проверить гипотезу о правильности оценки величины . Для этого используют следующим приближенным критерием

, (4.4)

где  Δ1, Δ2 – вычисленные по формуле (4.2) погрешности результатов измерений для первой и второй лабораторий соответственно (согласно сделанному выше предположению Δ1≈Δ2≈Δ).

Величина правой части неравенства (4.4) (значение критерия) зависит от  и этот критерий определяет значимость разности ⎪Х1 – Х2⎪ при *Q* = 1-Р, обусловленной влиянием не только факторов сходимости, но и влиянием факторов воспроизводимости. Если критерий (4.4) не выполняется, это свидетельствует о том, что фактическая величина  больше величины, указанной в методике, вследствие того, что учтены не все факторы, влияющие на . В этом случае СО не может быть испытан, поскольку погрешность измерений по существу неизвестна. Остается вариант – считать величину  неизвестной и оценивать ее по разности результатов измерений Х1 и Х2:

. (4.5)

При этом погрешность аттестованного значения СО следует вычислять по формуле

, (4.6)

где   = 12,7.

В результате будет получено неприемлемо большое значение погрешности аттестованного значения СО.

Если критерий (4.4) выполнен, то метролог правильно оценил величину , и погрешность измерений в каждой лаборатории действительно определяется формулой (4.2). В этом случае в качестве аттестованного значения СО *АСО* принимают среднее арифметическое

. (4.7)

Погрешность аттестованного значения СО в этом случае вычисляют по формуле

 (4.8)

или через интервальные оценки

. (4.9)

4.7.2 Пример межлабораторного эксперимента между двумя лабораториями, проводящими измерения по одной МВИ, в одной лаборатории приняты меры по уменьшению погрешности измерений

Рассмотрим пример, когда измерения в двух лабораториях проводят одним и тем же методом, но в первой лаборатории предприняты специальные меры по уменьшению погрешности измерений, например, применены более точные весы, мерная посуда, стабилизированы источники электропитания аппаратуры и т.д. В результате расчетов погрешности метрологом оказалось, что Δ1<Δ2. В этом случае критерием правильности оценки величин  будет также неравенство (4.4), но при расчете аттестованного значения СО и погрешности использовать формулы (4.5) и (4.6) некорректно вследствие неравноточности результатов измерений.

Учесть неравноточность результатов измерений можно путем использования статистических весов, которые обратно пропорциональны дисперсиям результатов измерений, т. е., считая Δ*i* распределенными нормально,

$$W\_{i }= \left(\frac{1,96}{∆\_{i}}\right)^{2}. \left(4.10\right)$$

Если критерий (4.4) выполнен, то в качестве аттестованного значения СО принимают значение

. (4.11)

В качестве погрешности аттестованного значения принимают наибольшее из значений экспериментальной (*ΔЭ*) или теоретической (*ΔТ*) погрешности, вычисленных по формулам:

, (4.12)

, (4.13)

где  *F* – взвешенная сумма квадратов отклонений от средневзвешенного значения, вычисленного по формуле (4.11):

. (4.14)

Может оказаться, что погрешность второй лаборатории превышает погрешность первой лаборатории в несколько раз. В этом случае расчет аттестованного значения по формуле (4.11) и погрешности по формулам (4.12) или (4.13) практически не повлияет на значения, полученные первой лабораторией и межлабораторный эксперимент может служить лишь подтверждением значений, полученных первой лабораторией и испытания СО по сути будут проводиться по результатам первой лаборатории.

4.8 Приведенные в 4.7.1 и 4.7.2 примеры поясняют перечисленные ниже положения, которые следует учитывать при организации межлабораторного эксперимента:

а) перед организацией межлабораторного эксперимента целесообразно провести оценивание погрешности измерений по дополнительным данным для каждой лаборатории;

б) результаты межлабораторного эксперимента могут являться критерием правильности оценивания погрешности измерений по дополнительным данным;

в) при правильности оценивания погрешности измерений по результатам межлабораторного эксперимента погрешность результатов измерений характеристик СО может быть уменьшена в сравнении со значением погрешности, оцененным по результатам одной лаборатории;

г) при значительном отличии друг от друга погрешностей измерений в различных лабораториях может оказаться целесообразным проводить испытания СО только в одной (получающей наиболее точные результаты) лаборатории;

д) в случае, указанном в перечислении г) результаты других лабораторий (получающих менее точные результаты) могут быть использованы для подтверждения результатов наиболее точной лаборатории.

4.8 Общие подходы к оцениванию аттестованного значения и погрешности СО рассмотрены в следующих разделах

# 5 Организация межлабораторного сличения и планирование испытаний

## 5.1 Выбор лабораторий

5.1.1 Для выбора лабораторий создают совет экспертов, состоящий из квалифицированных специалистов, хорошо знакомых с МВИ, с методами их аттестации и со статистическими методами.

5.1.2 Совет экспертов принимает решение о привлечении лаборатории для проведения межлабораторного эксперимента, исходя из следующих приоритетов:

а) наличие МВИ, аттестованной в соответствии с подходами, изложенными в разделе 6;

б) регулярное подтверждение показателей точности, сходимости и воспроизводимости МВИ путем проведения внутрилабораторного контроля;

в) наличие данных, позволяющих экспертным путем оценить показатели точности, сходимости и воспроизводимости МВИ;

г) применение в МВИ средств измерений с известными метрологическими характеристиками, оборудования, адекватность применяемых измерительных и вспомогательных процедур, процедур подготовки проб.

Наличие аттестованной МВИ [перечисление а)] чрезвычайно важно т. к. некоторые из них имеют двойное применение – не только для целей учета и контроля ЯМ, но и, например, для контроля стабильности технологических процессов. В последнем случае при аттестации МВИ составляющая погрешности, обусловленная факторами воспроизводимости, могла вообще не оцениваться или оцениваться при недостаточном уровне рандомизации. В то же время эта составляющая погрешности чрезвычайно важна для планирования и оценивания результатов межлабораторного эксперимента (см. раздел 4). Если вся необходимая достоверная информация об МВИ присутствует, совет экспертов может сделать обоснованные выводы о метрологических характеристиках МВИ и даже, с использованием формул раздела 8, сделать предварительные оценки погрешности результатов измерений характеристик СО для всех описанных ниже возможных схем испытаний.

Если достоверность данных о метрологических характеристиках МВИ вызывает сомнения, то совет экспертов, анализируя данные, указанные в перечислениях а), б) и в), делает экспертные оценки их значений. Если данных недостаточно, то, возможно, потребуется дополнительное изучение возможностей применяемых МВИ, включая анализ МВИ в лаборатории, ее применяющей, а также проведение предварительного межлабораторного эксперимента (сличения).

5.1.3 Работа совета на этой стадии должна закончиться выбором лабораторий и одной из приведенных *в этом разделе* возможных схем испытаний СО.

Если окажется, что только для одной лаборатории имеются достоверные данные о метрологических характеристиках МВИ, или метрологические характеристики МВИ одной лаборатории значительно лучше, чем МВИ других лабораторий, то выбирают схему испытаний в соответствии с разделом 6. Если одна из лабораторий имеет наилучшие метрологические характеристики, а несколько других имеют сравнимые метрологические характеристики, то может быть выбрана схема испытаний в соответствии с разделом 7. Если несколько лабораторий имеют близкие метрологические характеристики, то выбирают схему испытаний в соответствии с разделом 8.

## 5.2 Планирование межлабораторных сличительных измерений и выбор методик

5.2.1 Задачами совета экспертов являются:

- планирование и координация экспериментов;

- принятие решений по количеству измерений в каждой лаборатории, по формам их представления и по количеству требуемых значащих цифр;

- назначение лица, ответственного за статистическую обработку экспериментальных данных;

- принятие решения о назначении лаборатории, где будут проводиться испытания;

- назначение лица, ответственного за выполнение измерений по программе испытаний;

-рассмотрение инструкций, которые могут быть направлены в лаборатории в дополнение к их МВИ;

- рекомендации по улучшению метрологических характеристик МВИ;

- установление окончательных значений метрологических характеристик СО;

- принятие решений, когда требуются дальнейшие действия (например, когда некоторые лаборатории не подтвердили результаты измерений, полученные в испытательной лаборатории).

5.2.2 На первом этапе работы совет экспертов разрабатывает программу экспериментов для испытательной и подтверждающих лабораторий. Программа экспериментов должна исключать возможность путаницы относительно ее целей, предлагаемых к измерениям образцов (проб), схемы испытаний СО.

5.2.3 В программу включается следующая информация:

- название и адрес организации-разработчика СО;

- фамилия и адрес лица, ответственного за выполнение измерений по программе испытаний, и других специалистов, задействованных в реализации программы;

- цель программы;

- название и адрес лаборатории или лабораторий, выполняющих программу или части программы (например, отбор, упаковка и рассылка образцов (проб), исследование однородности материала СО) и число участников;

- описание проб материала СО;

- описание информации, которая предоставляется участникам, и календарный план всех этапов работ;

- предполагаемые сроки начала и окончания измерений;

- информация о методах или методиках, которые могут потребоваться участникам для выполнения измерений (обычно это их рабочие методики);

- перечень сведений, которые должны представить участники, в том числе необходимое количество параллельных измерений, число значащих цифр в результатах измерений, единицы измерения, способ калибровки средства измерения и используемые при этом эталоны, формат выходных данных и т. д.;

- описание степени, до которой должны быть преданы гласности выводы по результатам измерений.

Пример оформления программы экспериментов для подтверждающей лаборатории приведен в приложении А.

5.2.4 Подготовка образцов (проб) СО перед их рассылкой в лаборатории

Образцы (пробы) должны отбираться от материала СО произвольным образом, количество материала должно быть достаточным для выполнения измерений в каждой лаборатории с учетом возможности случайных потерь при отборе проб или при проведении измерений. Важным является также и упаковка образцов (проб), которая должна обеспечивать удобство в работе и стабильность материала пробы.

Для материала СО должна быть предварительно оценена характеристика однородности – материал образца должен быть достаточно однородным с тем, чтобы любые результаты, позже идентифицированные как экстремальные, не приписывались вариации от неоднородности.

5.2.5 Подготовленные образцы (пробы) направляются в участвующие лаборатории для проведения измерений одновременно.

5.2.6 При проведении измерений в лабораториях операторы должны строго выполнять все процедуры, приведенные в МВИ а также, что крайне важно для нестабильных материалов, сроки проведения измерений.

5.2.7 Если совет экспертов предложил некоторые усовершенствования МВИ, то перед началом измерений СО эти усовершенствования должны быть опробованы и усвоены операторами.

5.2.8 Результаты измерений должны быть занесены в специальные формы, разработанные советом экспертов.

5.2.9 Если в процессе измерений все же произошли отклонения от процедур, предусмотренных в МВИ или в усовершенствованиях, то эти отклонения должны быть обязательно приведены в итоговом отчете лаборатории о проведенных измерениях.

## 5.3 Оценивание результатов межлабораторного эксперимента

5.3.1 На основании результатов, полученных в испытательной лаборатории, рассчитывают значение аттестуемой характеристики и ее погрешность в соответствии с алгоритмом, приведенным в разделе 6. Число результатов, полученных в испытательной лаборатории, должно быть представительным (не менее 20). При этом эксперимент следует спланировать так, чтобы результаты были получены группами в разные дни и разными операторами для исключения возможного систематического сдвига среднего значения, обусловленного временным и человеческим факторами.

5.3.2 После получения результатов измерений от лабораторий, участвующих в работе, проводится их предварительный статистический анализ. Статистическая модель и используемые методы анализа данных должны быть документированы и иметь краткое описание обоснования их выбора. При статистическом моделировании особое внимание необходимо уделить следующим вопросам:

- сходимость, воспроизводимость и правильность результатов проводимых измерений;

- методики, используемые для оценки аттестованного значения;

- число участвующих лабораторий;

- количество повторных измерений, которые проводились на каждом образце (пробе);

- методы, используемые для выявления выбросов результатов.

5.3.3 Анализ результатов измерений, как статистическая задача, предусматривает следующие этапы:

- проверку полученных результатов на наличие грубых промахов;

- обработку выбросов и других нерегулярностей;

- отбраковку, в случае необходимости, лабораторий по соответствующим критериям.

При этом следует применять методы, позволяющие свести к минимуму влияние экстремальных результатов.

5.3.4 Окончательный статистический анализ проводят в соответствии с разделом 7 или 8 в зависимости от выбранной модели межлабораторного эксперимента.

# 6 Установление аттестуемых характеристик по результатам измерений в одной лаборатории без подтверждающих измерений

6.1 В разделе описаны испытания СО в том случае, когда по результатам предварительного межлабораторного сличения или по экспертным оценкам, базирующимся на косвенных данных (включающим, в том числе, и результаты аттестации МВИ), выбрана одна лаборатория. Подтверждающие измерения при этом не проводят.

6.2 Приведенный ниже алгоритм применяют при выполнении следующих требований:

а) характеристики СО определяют с применением аттестованных МВИ, для которых известна величина *θ* – чистая воспроизводимость (НСП) МВИ, которое не должно превышать допускаемой погрешности результатов измерений характеристик СО, установленной в техническом задании;

б) результаты отдельных измерений по МВИ подчиняются нормальному закону распределения.

6.3 При установлении аттестованного значения СО – *AСО* и погрешности аттестованного значения Δ(*АСО*) проводят многократные измерения аттестуемой характеристики СО. Отдельный результат измерения Хi может быть получен как прямыми, так и косвенными измерениями, то есть значение Хi получают из результатов измерений *l* величин a1i, a2i, … ali:

*Xi = f(a1i, a2i, … ali) .*  (6.1)

6.4 Вычисляют среднее значение аттестованного значения по формуле

 (6.2)

и СКО по формуле

. (6.3)

где  *n****>***15 – количество параллельных определений (количество параллельных определений может быть уменьшено, если априори известно, что погрешность результатов измерений характеристик СО будет удовлетворять условиям технического задания на СО и при малом количестве *n*).

6.5 Проверяют гипотезу о нормальном законе распределения результатов параллельных определений. Несоответствие результатов нормальному распределению, как правило, свидетельствует о промахах при измерениях. В этом случае необходимо тщательно повторить всю серию измерений.

6.6 Доверительные границы (интервал) случайной погрешности результата измерений для доверительной вероятности Р = 0,95, вычисляют по формуле

, (6.4)

где  *t(n-1),*0,95 – коэффициент Стьюдента для доверительной вероятности 0,95 для
(*n*-1) степеней свободы.

Погрешность результатов измерений Δ*СО* вычисляют по формуле

, (6.5)

где  θ – значение чистой воспроизводимости (НСП) МВИ, использованной при испытаниях СО.

Если результаты получены косвенными измерениями, и для каждой величины a1i, a2i, … ali известны *θi –* значения чистой воспроизводимости (НСП) МВИ, то *θ* вычисляют по формуле

. (6.6)

Коэффициент *K* принимают равным 1, если одна из составляющих погрешности в три или более раз превышает сумму всех остальных составляющих, в противном случае коэффициент *K*принимают равным 1,1.

Значение погрешности аттестованного значения СО Δ(*АСО*)вычисляют по формуле

, (6.7)

где  σн – СКО погрешности от неоднородности СО.

# 7 Установление аттестуемых характеристик по результатам измерений в одной лаборатории с подтверждающими измерениями

7.1 В разделе описаны испытания СО в том случае, когда по результатам предварительного межлабораторного сличения или по экспертным оценкам, базирующимся на косвенных данных (включающим, в том числе, и результаты аттестации МВИ), выбрано ограниченное количество лабораторий *m* (*m*< 10), которые могут быть привлечены к испытаниям. При этом установлено, что одна из лабораторий может быть признана в качестве испытательной, т. е. результаты измерений в этой лаборатории будут участвовать в расчете аттестованного значения СО и его погрешности. Другие лаборатории могут быть признаны в качестве подтверждающих, т. е. результаты измерений в этих лабораториях будут использованы только для подтверждения отсутствия грубых промахов в результате испытаний СО. Практически из-за высокой стоимости и большой трудоемкости работы с ядерными материалами количество лабораторий *m* не будет превышать шесть – восемь.

7.2 Рассчитывают средневзвешенное значение *А* результатов подтверждающих измерений

, (7.1)

, (7.2)

где  *m* – количество лабораторий, участвующих в подтверждающих измерениях;

k – порядковый номер лаборатории;

*Wk***–** статистический вес результата измерения *k*-ой лаборатории;

*Аk* – результат измерений, полученный в *k*-ой лаборатории;

Δ*СОk* – погрешность результатов измерений *k*-ой лаборатории, определенная в соответствии с разделом 6.

7.3 Затем рассчитывают погрешность средневзвешенного значения подтверждающих результатов измерений

 (7.3)

и проверяют отсутствие значимого расхождения средневзвешенного значения *А* с результатом, полученным в испытательной лаборатории *Аатт* по критерию

, (7.4)

где  Δ*атт* – погрешность результата *Аатт*, полученного в испытательной лаборатории.

7.4 Если критерий (7.4) выполняется, то результаты испытаний признают удовлетворительными, а испытания – состоявшимися. СО присваивают аттестованное значение *АСО*, равное *Аатт*, с погрешностью Δ(*АСО*), равной Δ*атт*.

7.5 При значимом расхождении средневзвешенного результата подтверждающих лабораторий с результатом испытательной лаборатории совет экспертов должен проанализировать причины неудовлетворительного результата и разработать план дальнейших действий. Например, может оказаться, что один из подтверждающих результатов имеет наибольший статистический вес (наименьшее значение Δ*СОk*) при наибольшем отклонении результата измерения А*k* от результата испытательной лаборатории. При этом если в подтверждающих измерениях участвовало еще несколько лабораторий, может быть принято решение об исключении данного результата из группы подтверждающих и проведен повторный расчет по оценке значимости расхождений. И при положительном результате, испытания СО будут признаны состоявшимися. Если в подтверждающих измерениях участвовало всего две лаборатории, то такой «аномальный» результат исключать нельзя. Целесообразно спланировать и провести дополнительный эксперимент по подтверждению результатов испытаний, возможно с привлечением новой лаборатории. При получении и в этом случае неудовлетворительных результатов испытания СО признаются неудачными и назначают другую испытательную лабораторию. Эксперимент по испытаниям СО в этом случае проводят заново.

# 8 Установление метрологических характеристик СО по результатам измерений нескольких лабораторий

## 8.1 Применение нескольких аттестованных МВИ, основанных на различных методах

8.1.1 Предполагается, что для испытаний СО применяют аттестованные МВИ, основанные на различных методах и имеющие разные погрешности, например, для определения массовой доли урана применяют титриметрическая и кулонометрическая МВИ. В этом случае эти МВИ могут иметь значимые систематические расхождения друг с другом. В этом случае, прежде чем рассчитывать аттестованное значение СО, необходимо убедиться в их отсутствии.

8.1.2 Если по двум различным МВИ получены в соответствии с разделом 7 значения аттестуемой характеристики СО, равные *А*1 и *А*2, и соответствующие погрешности результатов измерений Δ*СО*1 и Δ*СО*2, то разность │*А*1-*А*2│считают незначимой, если

. (8.1)

Примечание – Условие (8.1) справедливо, если неоднородностью материала СО можно пренебречь. В противном случае в (8.1) и далее вместо значений погрешности результатов измерений ΔСоi необходимо использовать значения погрешности ΔСОk**,** полученные с учетом неоднородности, что в случае большой неоднородности материала приведет в конечном итоге и к большому значению погрешности испытаний СО.

8.1.3 Условие (8.1) необходимо проверить для всех пар использованных МВИ. Если оно выполняется, то в качестве аттестованного значения СО *АСО* принимают средневзвешенное значение

, (8.2)

, (8.3)

где  *k* – порядковый номер МВИ,

*m* – количество МВИ.

8.1.4 Если условие (8.1) не выполняется только для одной пары из использованных МВИ, это означает, что между результатами, получаемыми по этим МВИ, имеются значимые систематические расхождения. В этом случае предпочтение отдают результатам, полученным по МВИ, обеспечивающим наименьшую погрешность результатов измерений характеристик СО и использующим абсолютные методы измерений. Величина разности АСО-Аи (где Аи – принятое опорное значение АСО) используется в качестве поправки при дальнейшем рассмотрении результатов межлабораторного эксперимента.

## 8.2 Анализ результатов межлабораторного эксперимента

8.2.1 При испытаниях СО методом межлабораторного эксперимента возможно уменьшение погрешности результатов измерений характеристик СО за счет уменьшения составляющей погрешности, обусловленной факторами воспроизводимости (разные приборы, разные исполнители, разное время проведения измерений и т. д.). Также возможно выявление некорректности определения этой составляющей при аттестации МВИ или неправильности применения МВИ в отдельных лабораториях, приводящей к увеличению погрешности измерений.

8.2.2 При измерениях применяют, как правило, одну аттестованную МВИ. Возможно применение нескольких аттестованных МВИ, но между применяемыми МВИ не должно быть значимых систематических расхождений (пункт 8.1). В противном случае в результаты измерений должны быть внесены поправки в соответствии с 8.1. Предполагается, что таким образом получены *m* значений результатов измерений аттестуемой характеристики СО – Аk и соответствующие погрешности результатовизмерений Δ*СОk* (*k* от 1 до *m*).

Вычисляют статистические веса *Wk* по формуле (8.3) и средневзвешенное значение результатов измерений *АСО* по формуле (8.2), в которых в качестве *m* берется количество представленных результатов, а в качестве *k* – порядковый номер измерения.

Вычисляют взвешенные отклонения

. (8.4)

Вычисляют величину *F* (взвешенную сумму квадратов отклонений)

 (8.5)

и проверяют значимость расхождений результатов измерений.

Расхождения являются незначимыми, если

, (8.6)

где  *χ2(m-*1),0,95– 95 % квантиль *χ2*-распределения с (*m* -1) степенью свободы.

Если расхождения являются значимыми, то необходимо повторить расчеты, не включая результат с наибольшим по модулю взвешенным отклонением.

Если после этого критерий (8.6) будет выполнен, это означает, что в лаборатории, чей результат был исключен, неправильно применяют МВИ, что приводит к увеличению фактической погрешности измерений в сравнении с приписанным значением. Этот результат следует исключить.

Если критерий (8.6) не выполнен и после исключения результата с наибольшим по модулю взвешенным отклонением, это означает, что при аттестации МВИ составляющая погрешности, обусловленная факторами воспроизводимости, была занижена. В этом случае МВИ подлежит переаттестации. Полученные результаты можно использовать для испытаний СО, но значение погрешности результатов измерений Δ*СО* будет большим (см. формулу (8.9)).

8.2.3 Если критерий (8.6) выполнен, то вычисляют значения

, (8.7)

. (8.8)

В качестве погрешности результатов измерений Δ*СО* принимают наибольшее из значений Δ*Э*, Δ*Т*.

Если критерий (8.6) не выполнен, то погрешность результатов измерений Δ***СО*** вычисляют по формуле

$Δ\_{со}=t\_{(m-1),0,95}\sqrt{\frac{F}{(m-1)\sum\_{k=1}^{m}W\_{k}^{}}}$, (8.9)

где  *t****(m-***1),0,- 95 % квантиль распределения Стьюдента с (*m*-1) степенями свободы.

Значение погрешности аттестованного значения СО Δ(*АСО*)вычисляют по формуле (6.7).

Пример применения алгоритма расчета аттестованного значения приведен в приложении Б.

**Приложение А[[1]](#footnote-2)
(рекомендуемое)

Пример оформления программы экспериментов по испытаниям стандартного образца или аттестованного объекта системы учета и контроля ядерных материалов**

**ПРОГРАММА**

**проведения подтверждающих измерений содержания урана в материале стандартного образца состава закиси-окиси урана гравиметрическим методом с пероксидным осаждением в лабораториях** (*наименование лабораторий)*

В рамках программы разработки и создания Российских стандартных образцов состава для разрушающих методов анализа, которые планируется использовать в целях контроля и учета ядерных материалов, «АО ВНИИ неорганических материалов имени академика А.А. Бочвара» (г. Москва) проводит разработку стандартного образца содержания урана в закиси-окиси урана.

Ответственные лица и исполнители: \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_.

Материал стандартного образца изготовлен в АО «УЭХК», г. Новоуральск. Ответственные исполнители: \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_.

Программа разработана в целях регламентации проведения измерений массовой доли урана в материале стандартного образца (СО) состава закиси-окиси урана (U3O8) гравиметрическим методом с пероксидным осаждением.

Лаборатории-участники подтверждающих измерений: \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_.

**Характеристика материала СО**

Материал СО – мелкодисперсный порошок закиси-окиси урана, приготовленный путем пирогидролиза тетрафторида урана высокой чистоты.

Содержание примесей металлов в материале СО приведено в таблице. Результаты получены масс-спектрометрическим методом.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Элемент | Массовая доля элемента по отношению к U, ∙10-4, % | Элемент | Массовая доля элемента по отношению к U,∙10-4, % |
| Серебро | <0,1 | Эрбий | <0,05 |
| Алюминий | <0,1 | Европий | <0,05 |
| Бор | <1 | Гадолиний | <0,05 |
| Барий | <1 | Индий | <0,05 |
| Бериллий | <0,1 | Калий | <2 |
| Висмут | <0,1 | Литий | <0,1 |
| Кальций | <2 | Магний | 0,45 |
| Кадмий | <0,05 | Марганец | <0,1 |
| Кобальт | <0,05 | Молибден | <0,05 |
| Хром | 0,22 | Натрий | 0,8 |
| Медь | 0,07 | Никель | 0,6 |
| Диспрозий | <0,05 | Свинец | <0,1 |
| Самарий | <0,05 | Ванадий | <0,05 |
| Олово | <0,05 | Вольфрам | <0,05 |
| Стронций | <0,05 | Цинк | 0,3 |
| Титан | <0,1 | Железо | 1,0 |
| Сумма массовых долей примесей < 12 10-4 % |

Суммарное содержание примесей (металл + неметалл) – не более 0,004 массовых долей в уране, %.

Средняя атомная масса урана – 238,044 а.е.м.

**Маркировка, тара и упаковка проб**

Материал СО расфасован в стеклянные флаконы по 15 грамм. Флакон помещается в сертифицированный транспортный контейнер типа YKTIA-COT. В каждую лабораторию направляется одна упаковка.

Флакон и контейнер маркируются. Маркировка на флаконе: «Проба материала СО U3O8 № … ». Маркировка на контейнере: «Программа испытаний стандартного образца U3O8. Проба № …. Координатор программы АО «ВНИИНМ», г. Москва».

**Требования безопасности**

Условия работы и хранения материала стандартного образца состава закиси-окиси урана должны соответствовать требованиям, установленным в следующих нормативных документах:

- «Основные правила безопасной работы в химических лабораториях», изд-во «Химия», М.-Л., 1979 г.;

- «Нормы радиационной безопасности» (НРБ-99/2009);

- «Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности» (ОСПОРБ-99/2010);

- ГОСТ 12.1.004-91 «ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования»;

- ГОСТ 12.1.005-88 «ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны»;

- ГОСТ 12.1.007-76 «ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности».

При транспортировании следует руководствоваться документом «Правила безопасности при транспортировании радиоактивных материалов» (НП-053-16).

**Схема измерений**

а) Взять для измерений 15 навесок материала стандартного образца и три пробы какого-либо испытанного СО (ГСО, ОСО). Массы проб – в соответствии с МВИ, не менее 600 мг. Пробы испытанных СО должны быть примерно сопоставимыми по составу и метрологическим характеристикам.

б) Провести три серии измерений. В каждой серии измерить одну пробу испытанного СО, пять проб материала испытуемого стандартного образца и три «холостых» пробы.

в) Серии измерений провести с временными интервалами, т.е. каждую следующую серию измерений (включая процедуру растворения проб) начинать после завершения предыдущей.

г) Измерения следует завершить в течение двух месяцев после получения материала стандартного образца в лабораторию, но не позже….

Измерения следует проводить в соответствии с ОСТ 95 175-2003 «Уран и его соединения. Методика гравиметрического с пероксидным осаждением измерения содержания урана».

**Рекомендации по выполнению измерений**

а) Перед проведением испытаний прокалить материал СО при температуре 900 °С в течение 1 часа на воздухе.

б) Растворение проб в азотной кислоте проводить в высоких стаканах вместимостью 250 см3, закрытых стеклом. Возможно проведение растворения в СВЧ-печи.

в) После осаждения обеспечить выдержку осадка пероксида урана в течение 12 – 15 часов (оставить на ночь).

г) Для фильтрации осадка пероксида урана, по возможности, использовать фильтры «белая лента» диаметром 9 – 11 см, изготовленные по ТУ 6-09-1678-95, изготовитель АО «ЭКРОС» (эти фильтры дают низкие и стабильные значения массы золы).

Перед фильтрованием осадка обработать фильтры непосредственно на воронке горячей дистиллированной водой, наполняя полностью фильтры четыре раза (обработка фильтров горячей водой позволяет получить минимальные и более стабильные значения массы золы фильтров).

д) Перед фильтрованием палочкой перемешать осадок и вылить часть раствора на фильтр. Первую порцию фильтрата возвратить в стакан и далее продолжить фильтрацию в соответствии с методикой. В случае прохождения осадка через фильтр эту операцию повторить 2-3 раза. После фильтрации и промывки осадок на фильтре оставить на ночь для высушивания.

е) На следующий день фильтры с осадками осторожно перенести в платиновые тигли, поместить в холодную муфельную печь, включить температуру нагрева 300 0С. При этой температуре происходит озоление (сжигание) фильтров. После визуальной проверки полноты озоления фильтров включить нагрев до температуры 900 0С. При этой температуре прокалить тигли в течение двух часов.

**Представление результатов**

*Обработку результатов измерений производить в соответствии с разделом 6 ГОСТ Р 8.        –202  .*

Результаты измерений массовой доли урана представить в виде таблицы

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| № серии | Дата измерения | № пробы | Массовая доля урана *X*, %~~.~~ | Масса золы «холостого» опыта, г |
| I… |  | 1 (СО) |  | mхол1mхол2 |
| *2 (материал СО)* |
|  | *3 (материал СО)* |  | mхол3 |
|  | 4 (материал СО) |
|  | … | 5 (материал СО )…………. | … |  |
| 2 |  | 2 (СО)……….. |  |  |
|  |  |  |  |

**Дополнительно указать:**

- наименование оборудования, использованного при испытаниях СО, и его метрологические характеристики;

- тип весов и погрешность взвешивания.

Ответственный за \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

организацию измерений подпись инициалы, фамилия

(должность)

**Приложение Б
(рекомендуемое)

Пример применения алгоритмов расчета аттестованного значения**

**и погрешности**

Б.1 Рассмотрим пример практического применения алгоритмов расчета аттестованного значения и погрешности – испытания СО состава закиси-окиси урана. Аттестуемой характеристикой является массовая доля урана общего.

СО был испытан в лаборатории метрологического обеспечения аналитического контроля АО «ВНИИНМ» (НМ-М) с использованием прецизионной гравиметрической методики с пероксидным осаждением, а затем с целью подтверждения результата испытаний материал СО был разослан в следующие лаборатории:

- в аналитическую лабораторию АО «Радиевый институт им. В.Г. Хлопина» (далее - РИ);

- в аналитическую лабораторию АО «Уральский электрохимический комбинат» (далее - УЭХК);

- в аналитическую лабораторию ФГУП «НИИ НПО «Луч» (далее – Луч);

- в аналитическую лабораторию АО «ВНИИНМ» (далее – НМ-А).

 Указанные организации были выбраны, как наиболее компетентные, имеющие большой опыт работы и, что существенно, применявшиеся в этих организациях методики были аттестованы (за исключением кулонометрической методики аналитической лаборатории НМ-А).

В настоящем примере использованы следующие сокращенные наименования методик:

- «Гр» – гравиметрическая методика с пероксидным осаждением (не прецизионный вариант);

- «ПГр» – гравиметрическая методика с пероксидным осаждением (прецизионный вариант);

- «Кл» – кулонометрическая методика с контролируемым потенциалом;

- «ДГ» – методика потенциометрического титрования Дэвиса-Грэя;

- «Тит» – методика высокопрецизионной титриметрии.

Результаты измерений приведены в таблице Б.1.

Таблица Б.1 – Результаты измерений

| Организация | МВИ | *Аk* | Δ*k* | *Wk* | *AkWk* | Z*k* | Z*k*2 | χ2 | *Wn,k* |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| НМ-М | ПГр | **84,784** | **0,016** | 15006 | 1272290 | 0,255 | 0,065 | 11,07 | 0,855 |
| РИ | ДГ | 84,763 | 0,06 | 1067 | 90451,54 | -0,618 | 0,382 | 0,061 |
| УЭХК | Гр | 84,787 | 0,12 | 267 | 22619,29 | 0,083 | 0,007 | 0,015 |
| Луч | Гр | 84,742 | 0,12 | 267 | 22607,28 | -0,652 | 0,425 | 0,015 |
| Луч | ДГ | 84,791 | 0,16 | 150 | 12723,95 | 0,111 | 0,012 | 0,009 |
| НМ-А | Кл | 84,778 | 0,07 | 784 | 66465,95 | -0,110 | 0,012 | 0,045 |
| Сумма | 17541 | 1487158 | - | 0,903 | - | - |
| Средн. | 84,774 | Ср.взвеш. | **84,782** |
| СКО | 0,019 | ΔЭ | 0,0063 |
| ΔГОСТ | 0,019 | ΔТ | **0,015** |

Примечание – *ΔГОСТ– погрешность СО, рассчитанная в соответствии с ГОСТ 8.532.*

Средние результаты измерений массовой доли урана приведены в столбце 3. Для всех методик были оценены погрешности измерений для Р = 0,95 в соответствии с разделом 6. Эти значения приведены в столбце 4. Легко убедиться с использованием критерия (8.1), что различные методики не имеют значимых систематических расхождений друг относительно друга. Поэтому дальнейшие расчеты проводились по формулам (8.2) – (8.9). В столбце 5 приведены вычисленные по формуле (8.3) статистические веса *Wk*. Средневзвешенное значение результатов измерений *А*, вычисленное по формуле (8.2), составило 84,782 %.

Взвешенные отклонения вычислены по формуле (8.4) (столбец 7) и взвешенные суммы квадратов отклонений *F*, которая составила 0,903. Критерий (8.6) выполнен, поскольку значение квантиля χ2–распределения для *m* = 5 составило 11,08.

Значения Δ*Э***,** Δ*Т*. вычислены по формулам (8.8) и (8.9). В качестве погрешности результатов измерений характеристик принято наибольшее из значений Δ*Э***,** Δ*Т*, т.е. Δ*Т* = ± 0,015 %, Р = 0,95. Полученное значение погрешности практически не отличается от погрешности, полученной основной испытательной лабораторией – лабораторией метрологического обеспечения аналитического контроля АО «ВНИИНМ» (± 0,016 %). Иными словами, применение схемы межлабораторного эксперимента с участием всех лабораторий в определении аттестованного значения практически не привело к уменьшению погрешности, т. к. погрешность результатов измерений основной испытательной лаборатории намного меньше, чем погрешности результатов измерений всех других лабораторий и в результате вклад других лабораторий в результаты испытаний СО очень мал. Это характеризуется значениями нормированных статистических весов

, (Б.1)

приведенных в столбце 10 таблицы Б.1. Например, статистический вес лаборатории метрологического обеспечения аналитического контроля АО «ВНИИНМ» в 0,855/0,015 = 57 раз больше статистического веса УЭХК и в рассмотренном примере результаты других лабораторий могут быть использованы только для подтверждения (отсутствия грубого промаха) результата основной лаборатории, что, собственно, и было сделано.

Б.2 Межлабораторный эксперимент может привести к уменьшению погрешности результатов измерений характеристик СО, если две или более лабораторий имеют близкие погрешности. Рассмотрим это на таком примере. Кроме приведенных выше результатов лаборатория метрологического обеспечения аналитического контроля в АО «ВНИИНМ» проведены измерения материала СО и по методике высокопрецизионной титриметрии НБЛ. На момент испытаний СО эта методика не была аттестована и включение полученных по ней результатов в схему расчетов некорректно, но в целях иллюстрации это было сделано. При оценке погрешности результатов измерений случайная составляющая рассчитывалась обычным способом, а в качестве чистой воспроизводимости (НСП) МВИ было принято значение погрешности результатов измерений характеристик американского СО СRM-129 (± 0,015 %), по которому осуществлялся контроль качества измерений. Принятое для расчетов значение погрешности измерений массовой доли урана в СО составило ± 0,017 %.

В таблице Б.2 приведены результаты расчетов, включающие результаты измерений по титриметрической методике.

Таблица Б.2 – Результаты расчетов, включающие результаты измерений по титриметрической методике

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Организация | МВИ | *Аk* | Δ*k* | *Wk* | *AkWk* | Z*k* | Z*k*2 | χ2 | *Wn,k* |
| НМ-М | ПГр | **84,784** | **0,016** | 15006 | 1272290 | -0,225 | 0,051 | 12,592 | 0,487 |
| РИАН | ДГ | 84,763 | 0,06 | 1067 | 90451,54 | -0,746 | 0,556 | 0,035 |
| УЭХК | Гр | 84,787 | 0,12 | 267 | 22619,29 | 0,019 | 0,000 | 0,009 |
| Луч | Гр | 84,742 | 0,12 | 267 | 22607,28 | -0,716 | 0,513 | 0,009 |
| Луч | ДГ | 84,791 | 0,16 | 150 | 12723,95 | 0,063 | 0,004 | 0,005 |
| НМ-А | Кл | 84,778 | 0,07 | 784 | 66465,95 | -0,219 | 0,048 | 0,025 |
| НМ-М | Тит | 84,791 | 0,017 | 13293 | 1127104 | 0,595 | 0,355 | 0,431 |
| Сумма | 30834 | 2614262 | - | 1,527 | - | - |
| Средн. | 84,777 | Ср.взвеш. | **84,786** | - | - | - | - |
| СКО | 0,018 | ΔЭ | 0,0056 | 0,0070 | - | - | - |
| ΔГОСТ | 0,017 | ΔТ | **0,011** | - | - | - | - |

Погрешность удалось уменьшить до ± 0,011 %, причем основной вклад в аттестованное значение и в уменьшение погрешности дали две методики – прецизионная гравиметрическая методика и титриметрическая методика. Почти такую же погрешность (± 0,012 %) мы получим, если включим в расчет только эти две методики. Этот расчет приведен в таблице Б.3.

Таблица Б.3 – Расчет по двум МВИ

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Организация | МВИ | Аk | Δk | Wk | AkWk | Zk | Zk2 | χ2 |
| НМ-М | ПГр | **84,784** | **0,016** | 15006 | 1272290 | -0,403 | 0,162 | 3,841 |
| НМ-М | Тит | 84,791 | 0,017 | 13293 | 1127104 | 0,428 | 0,183 |
| Сумма | 28299 | 2399394 | - | 0,345 | - |
| Средн. | 84,788 | Ср.взвеш. | **84,787** | - | - | - |
| СКО | 0,005 | ΔЭ | 0,0028 | 0,031 | - | - |
| ΔГОСТ | 0,044 | ΔТ | **0,012** | - | - | - |

В таблицах Б.1 – Б.3 также приведены результаты расчетов аттестованного значения и погрешности по следующей методике. В качестве аттестованного значения бралось среднее арифметическое всех результатов, включаемых в расчет

, (Б.2)

а погрешность вычислялась по формуле

ΔГОСТ= , (Б.3)

Где. (Б.4)

Такая методика расчета за небольшими отклонениями описана в ГОСТ 8.532. Отличия этого алгоритма от описанного в ГОСТ 8.532 следующие: ГОСТ 8.532 требует, чтобы количество лабораторий было не менее 10; СКО вычисляется иначе – не по формуле (Б.4). Как видно из таблиц, полученные значения ΔГОСТзначительно больше рассчитанных нами выше. О неприменимости ГОСТ 8.532 при малом количестве лабораторий уже говорилось выше. Кроме того, алгоритм расчета по формулам (Б.2) – (Б.4) не учитывает того, что результаты измерений, полученные в разных лабораториях и по разным методикам, неравноточны.

Алгоритм, рекомендуемый настоящим документом, свободен от этих недостатков.

**Библиография**

|  |  |
| --- | --- |
| [1] | Федеральный закон от 26 июля 2008 г. № 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений» |
| [2] | Метрологические требования к измерениям, эталонам единиц величин, стандартным образцам, средствам измерений, их составным частям, программному обеспечению, методикам (методам) измерений, применяемым в области использования атомной энергии (утверждены приказом Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом» от 31 октября 2013 г. № 1/10-НПА, зарегистрировано в Минюсте РФ 27 февраля 2014 г., регистрационный № 31442) |
| [3] | РМГ 29–2013 Рекомендации по межгосударственной стандартизации. Государственная система обеспечения единства измерений. Метрология. Основные термины и определения |
| [4] | Приказ Госкорпорации «Росатом» от 09.12.2020 № 1/14-НПА «Об утверждении Перечня измерений, относящихся к сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений и выполняемых при осуществлении деятельности в области использования атомной энергии, и обязательных метрологических требований к ним, в том числе показателей точности измерений». |

|  |
| --- |
| УДК 389.14:006.354 ОКС 17.020Ключевые слова: учет и контроль ядерных материалов, межлабораторные испытания стандартных образцов, стандартный образец, аттестованный объект системы государственного учета и контроля ядерных материалов |

Руководитель разработки

Директор отделения АО «ВНИИНМ

 имени академика А.А. Бочвара» В.Б. Горшков

1. Структурные элементы и ссылки, приведенные в настоящем приложении, не являются элементами настоящего стандарта и поэтому имеют оформление отличное от установленного ГОСТ 1.5–2001. [↑](#footnote-ref-2)