Государственное санитарно-эпидемиологическое нормирование Российской Федерации

2.6.5. Атомная энергетика и промышленность

Контроль радиационной обстановки. Общие требования

Методические указания

МУ 2.6.5.008-2016

Издание официальное

Москва
2016

gost.e-ecolog.ru

1. Разработаны Федеральным медицинским биофизическим центром им. А.И. Бурназяна ФМБА России (к.т.н. Абрамов Ю.В. – руководитель разработки, д.т.н. Клочков В.Н.), НИЦ «Курчатовский институт (к.ф.-м.н. Кутьков В.А.), НПП «Доза» (к.т.н. Нурлыбаев К., к.ф.-м.н. Мартынюк Ю.Н., к.ф.-м.н. Каракаш А.И.), ФГУП «ВНИИФТРИ» (д.т.н., профессор Ярына В.П.), АО «СНИИП» (д.т.н., профессор Б.В. Поленов).

2. Рекомендованы к утверждению Подкомиссией по государственному санитарно-эпидемиологическому нормированию ФМБА России (протокол от 21 апреля 2016 г. № 03/2016).

3. Утверждены заместителем руководителя ФМБА России, главным государственным санитарным врачом ФМБА России В.В. Романовым 22 апреля 2016 г.

4. Дата введения в действие - с момента утверждения.

5. С введением настоящего документа отменяются МУ 2.6.1.14–00. Методические указания. Контроль радиационной обстановки. Общие требования.

Содержание

Введение 4
1. Область применения 5
2. Нормативные ссылки 5
4. Организация и объем контроля радиационной обстановки 8
5. Порядок радиационного контроля 9
6. Классификация средств контроля радиационной обстановки 10
7. Общие технические требования к средствам контроля радиационной обстановки 12
8. Требования к аппаратуре и организации контроля радиационной обстановки в случае аварий 13
9. Общие требования к метрологическому обеспечению измерений параметров радиационной обстановки 14
10. Требования к представлению, протоколированию и хранению результатов контроля радиационной обстановки 14
Приложение 1 (информационное). Термины, определения и сокращения 15
Приложение 2 (справочное). Концепция оценивания и представления результатов радиационного контроля 16
Приложение 3 (справочное). Технические, метрологические и эксплуатационные требования к средствам контроля радиационной обстановки в соответствии со стандартами МЭК и ИСО 21
Приложение 4 (справочное). Технические, метрологические и эксплуатационные требования к средствам контроля радиационной обстановки в аварийных условиях 64
Приложение 5 (справочное). Международные стандарты по средствам контроля радиационной обстановки 77
Приложение 6 (информационное). Список исполнителей 82

УТВЕРЖДАЮ
Заместитель руководителя Федерального
медико-биологического агентства,
Главный государственный санитарный врач
ФМБА России



_____ В.В. Романов
_____ апреля _____ 2016 г.

Дата введения – с момента утверждения

2.6.5. Атомная энергетика и промышленность

Контроль радиационной обстановки. Общие требования

Методические указания

МУ 2.6.5.008-2016

Введение

Методические указания "Контроль радиационной обстановки. Общие требования" разработаны с целью создания методического документа, формулирующего общие требования к организации контроля радиационной обстановки на предприятиях (радиационных объектах) Госкорпорации «Росатом» (далее – радиационные объекты) и в организациях Федерального медико-биологического агентства на основе "Норм радиационной безопасности (НРБ-99/2009)" и "Основных санитарных правил обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010)" с использованием концепций и подходов, принятых в Публикации № 103 МКРЗ 2007 года и в Международных Основных Нормах Безопасности для защиты от ионизирующего излучения и безопасности источников излучения 2014 года.

Для обеспечения единства методических подходов и полноты обеспечения радиационной безопасности рассматриваются основные требования к организации и объему контроля в контролируемых условиях и при аварийной ситуации, а также технические требования к аппаратуре контроля радиационной обстановки, вопросы метрологического обеспечения измерений и тре-

бования к представлению, протоколированию и хранению информации о результатах контроля радиационной обстановки.

1. Область применения

1.1. Настоящие Методические указания (далее - Методические указания или МУ) устанавливают требования к организации, объему и Порядку (Программе, Плану, Регламенту) контроля радиационной обстановки на радиационных объектах, включая назначение, цели и задачи контроля, требования к приборному, методическому и метрологическому обеспечению контроля, а также к представлению, протоколированию и хранению результатов контроля.

1.2. Методические указания предназначены для использования при организации и проведении контроля радиационной обстановки, при разработке методов, технических средств и Порядков радиационного контроля:

– на предприятиях (радиационных объектах – далее РО) и в организациях Госкорпорации «Росатом»;

– на предприятиях (РО), подотчетных Госкорпорации «Росатом», независимо от их форм собственности;

– в организациях Федерального медико-биологического агентства, осуществляющих государственный надзор и регулирование в области обеспечения радиационной безопасности при использовании атомной энергии;

– в организациях, разрабатывающих и производящих средства дозиметрического контроля.

1.3. МУ распространяются на контроль радиационной обстановки в рабочих помещениях и на территории РО, в их санитарно-защитной зоне и зоне наблюдения.

2. Нормативные ссылки

Настоящие МУ разработаны в соответствии со следующими нормативными документами:

СанПиН 2.6.1.2523-09 - Нормы радиационной безопасности. (НРБ-99/2009): Санитарные правила и нормативы. – М. Роспотребнадзор, 2009.

СП-2.6.1.2612-10 - Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010): Санитарные правила и нормативы (в ред. Изменений № 1, утв. Постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 16.09.2013 № 43). – М. Роспотребнадзор, 2010.

ГОСТ 8.638-2013 – Метрологическое обеспечение радиационного контроля. Общие положения.

3. Цели и задачи контроля радиационной обстановки

3.1. Контроль радиационной обстановки на РО является неотъемлемой частью производственного контроля. Его техническая реализация в виде системы контроля радиационной обстановки является измерительно-информационной подсистемой общей системы обеспечения радиационной безопасности.

Организация контроля радиационной обстановки должна соответствовать требованиям НРБ-99/2009 и ОСПОРБ-99/2010.

3.2. Организация контроля радиационной обстановки на РО зависит от категории объекта и особенностей технологических производственных процессов.

Радиационная обстановка на РО определяется совокупностью радиационных параметров, характеризующих уровень опасности их воздействия на персонал и население в контролируемых условиях обращения с ИИИ и при радиационной аварии.

Контроль радиационной обстановки в зависимости от характера работ, как правило, включает измерения следующих параметров:

- мощность амбиентного/направленного эквивалента дозы;
- плотность потока ионизирующих частиц;
- поверхностное загрязнение радионуклидами;
- объемная активность радиоактивного аэрозоля (паров) в воздухе;
- объемная активность радиоактивных газов;
- удельная (объемная) активность радионуклидов в жидкостях;
- удельная (объемная) активность радионуклидов в твердых телах;
- удельная (объемная) активность радионуклидов в различных объектах окружающей среды;
- плотность выпадений радионуклидов на почву;
- энергетическое распределение ионизирующего излучения (спектрометрические измерения).

Контроль радиационной обстановки проводится в производственных помещениях радиационного объекта, на территории его промплощадки, в санитарно-защитной зоне и зоне наблюдения в соответствии с установленной категорией объекта по потенциальной радиационной опасности.

При проведении контроля радиационной обстановки используются дозиметрические, радиометрические и спектрометрические приборы и автоматизированные системы контроля радиационной обстановки, входящие в Аварийно-ситуационный центр ГК «Росатом» и Единую Государственную Автоматизированную Систему Контроля Радиационной Обстановки (ЕГАСКРО).

3.3. Основные цели контроля радиационной обстановки определяются сложившейся обстановкой в зоне контроля и/или динамикой ее изменения.

3.3.1. В условиях слабого изменения контролируемых радиационных параметров в пределах нормативных уровней контроль радиационной обстановки проводится в целях:

- подтверждения соблюдения норм и правил радиационной безопасности при осуществлении деятельности с использованием ИИИ или технологического оборудования, содержащего радиоактивные среды и вещества;
- документальной фиксации значений контролируемых радиационных параметров в условиях нормальной эксплуатации;
- оперативного выявления признаков развития аварийной ситуации, в особенности на потенциально опасных радиационных объектах;

• оценки воздействия радиационных факторов на персонал, население и окружающую среду.

3.3.2. При относительно быстром изменении радиационной обстановки и/или формировании аварийной радиационной обстановки контроль проводится в целях:

• оперативного выявления происходящих изменений, их причин и степени их опасности;

• составления прогноза дальнейших изменений и возможных последствий для персонала и/или критической группы населения;

• определения необходимых мер по обеспечению радиационной безопасности и нормализации радиационной обстановки;

• выбора и обоснования мер по оказанию медицинской помощи.

3.3.3. После принятия необходимых мер по улучшению и нормализации радиационной обстановки контроль проводится в целях:

• оценки эффективности принятых мер и реабилитационных мероприятий;

• составления прогноза негативных медико-демографических последствий и обоснования реабилитационных мероприятий;

• выявления медико-демографических последствий от радиационного воздействия.

3.4. Основные задачи контроля радиационной обстановки, обеспечивающие достижение перечисленных выше целей, следующие.

3.4.1. Контроль соответствия измеренных значений радиационных параметров установленным значениям этих параметров (проектным, нормативным, контрольным, предшествующим уровням значений радиационных параметров).

3.4.2. Документальная фиксация АСРК, аппаратурой или персоналом СРБ значений контролируемых радиационных параметров в контролируемых условиях и в условиях аварийной радиационной обстановки.

3.4.3. Контроль динамики изменений значений радиационных параметров и, прежде всего, в случае ухудшения радиационной обстановки.

3.4.4. Оперативная световая и звуковая сигнализация в случае превышения контролируемыми радиационными параметрами установленных пороговых значений или возникновения аварийной радиационной обстановки.

3.4.5. Идентификация причин ухудшения радиационной обстановки с выявлением конкретного оборудования, технологического процесса или других причин, вызвавших это ухудшение.

3.4.6. Определение перечня необходимых мероприятий по улучшению радиационной обстановки и контроль их эффективности.

3.4.7. Обоснование и определение временно́го режима работы персонала и оборудования.

3.4.8. Контроль соответствия режима работы оборудования безопасным условиям.

3.4.9. Получение данных для осуществления дозиметрического контроля индивидуальных доз облучения персонала методом дозиметрического контроля рабочих мест.

3.4.10. Регистрация и предоставление информации для оценки дозовой нагрузки на население в контролируемых условиях и в условиях радиационной аварии и для обоснования и выбора мер по оказанию необходимых защитных мер и медицинской помощи населению во время аварии и после ее ликвидации.

3.5. Технические средства контроля должны обеспечивать:

- измерение радиационных параметров, используемых для оценки (определения) доз внешнего и внутреннего облучения персонала;
- измерение параметров радиационной обстановки в соответствии с утвержденным Порядком контроля на рабочих местах, в производственных помещениях, на территории радиационного объекта, в санитарно-защитной зоне и в зоне наблюдения;
- отслеживание соответствия измеряемых радиационных параметров установленным значениям этих параметров (проектным, нормативным, контрольным, предшествующим уровням значений радиационных параметров).

4. Организация и объем контроля радиационной обстановки

4.1. Контроль радиационной обстановки должен отвечать требованиям всего комплекса принципов обеспечения радиационной безопасности, изложенных в НРБ-99/2009 и ОСПОРБ-99/2010, а именно: обоснованию, оптимизации и нормированию.

4.2. При работе с техногенными ИИИ для объекта соответствующей категории по потенциальной радиационной опасности предусматривается конкретный объем контроля радиационной обстановки, отраженный в Порядке радиационного контроля: перечень видов контроля и контролируемых параметров, точек измерения и периодичности контроля, типов радиометрической и дозиметрической аппаратуры и т.д.

Контроль радиационной обстановки распространяется на производственные помещения, территорию промплощадки, санитарно-защитной зоны и зоны наблюдения.

4.3. Общие требования к объему контроля радиационной обстановки устанавливаются на этапе проектирования нового объекта по согласованию с органами государственного регулирования радиационной безопасности при использовании атомной энергии.

4.4. Определенный проектом объем радиационного контроля подлежит уточнению в процессе эксплуатации в зависимости от реально сложившейся радиационной обстановки в данной организации и на прилегающей территории, а также при изменении технологических процессов, но не реже 1 раза в 5 лет.

4.5. Организация и объем контроля радиационной обстановки на предприятиях, где ведутся работы с ИИИ, должны соответствовать Порядку радиационного контроля.

5. Порядок радиационного контроля

5.1. Порядок (Программа, План, Регламент) радиационного контроля в части организации контроля радиационной обстановки содержит порядок организации и проведения контроля радиационной обстановки в производственных помещениях, территории промплощадки, санитарно-защитной зоны и зоны наблюдения, включая:

- вид контроля и контрольные уровни радиационных параметров;
- объекты радиационного контроля;
- контролируемые виды и энергетические спектры излучения;
- используемые приборы радиационного контроля;
- используемые МВИ;
- периодичность контроля;
- форму представления и регистрации результатов радиационного контроля.

Для большинства конкретных производств (или отдельных участков технологической цепочки) необходимо определять и устанавливать в Порядке обоснованный объем контроля, постоянно подтверждая и уточняя его с учетом изменяющейся радиационной обстановки, но не реже 1 раза в 5 лет. В данном документе рассматриваются лишь общие требования к составляющим Порядка, которые необходимо учитывать при его разработке и введении.

5.2. Подготовку и обоснование Порядка на действующих радиационных объектах проводит СРБ радиационного объекта. Порядок утверждает лицо, ответственное на предприятии за обеспечение радиационной безопасности, и согласовывает его с федеральным органом, уполномоченным осуществлять федеральный государственный санитарно-эпидемиологический надзор.

5.3. Для целей оперативного управления источником облучения персонала администрация организации устанавливает контрольные уровни. КУ не является допустимым значением контролируемой величины. Он используется для определения необходимых действий, когда значение контролируемой величины превышает или по прогнозу должно превысить контрольный уровень. Действия, которые будут предприняты, должны быть определены при установлении контрольных уровней и могут изменяться от простой регистрации информации, проведения исследований в целях выяснения причины наблюдаемых изменений в радиационной обстановке и оценки последствий вплоть до проведения вмешательства в процесс эксплуатации источника путем проведения мероприятий для обеспечения условий более безопасной эксплуатации источника и, как следствие, уменьшения индивидуальной годовой эффективной дозы облучения персонала и радиоактивного загрязнения объектов окружающей среды.

5.4. Порядок установления КУ определяется ОСПОРБ-99/2010. Значения контрольных уровней устанавливаются таким образом, чтобы были гарантированы:

- непревышение основных дозовых пределов;

• планомерное уменьшение облучения персонала и населения, радиоактивного загрязнения окружающей среды.

При установлении контрольных уровней учитывается:

• достигнутый уровень радиационной безопасности и защиты персонала и населения;

• облучение всеми подлежащими контролю источниками;

• вариация параметров радиационной обстановки в границах, определяющих условия нормальной эксплуатации источника излучения;

• возможная неопределенность результатов контроля.

6. Классификация средств контроля радиационной обстановки

6.1. Для контроля радиационной обстановки используются дозиметрические, радиометрические и спектрометрические приборы. Дозиметрические приборы предназначены для измерения операционных дозиметрических величин: амбиентного, направленного и индивидуального эквивалентов доз, являющихся консервативными оценками нормируемых величин: эффективной и эквивалентных доз.

Радиометрические приборы измеряют физические величины: активность или число ионизирующих частиц.

Спектрометрические приборы измеряют физические величины: число ионизирующих частиц и их энергию.

Физические величины, измеряемые радиометрическими и спектрометрическими приборами, лишь косвенно связаны с дозами облучения.

6.2. Аппаратура радиационного контроля подразделяется по контролируемому радиационному параметру на приборы контроля:

- амбиентного эквивалента дозы;
- мощности амбиентного/направленного эквивалента дозы;
- плотности потока ионизирующих частиц;
- поверхностной активности;
- объемной активности радиоактивных аэрозолей (паров);
- объемной активности радиоактивных газов;
- удельной (объемной) активности радионуклидов в жидкостях;
- удельной (объемной) активности радионуклидов в твердых телах;
- активности радионуклидов, содержащихся в организме, органе;
- плотности радиоактивного загрязнения почвы;
- энергетического распределения ионизирующего излучения (спектрометрия) – при необходимости;
- двух и более параметров, обеспечиваемых средствами одной функциональной группы (комбинированные).

6.3. Классификация по виду ионизирующего излучения:

• контроль альфа-излучения;

• контроль электронного (бета-) излучения;

• контроль фотонного излучения;

• контроль нейтронного излучения;

• контроль смешанного излучения.

6.4. Классификация по временному характеру контроля:

- непрерывный (оперативный) контроль;
- эпизодический (инспекционный) контроль;
- периодический (текущий) контроль.

К приборам непрерывного (оперативного) контроля относятся контроль посредством автоматизированных систем радиационного контроля (АСРК). Этот вид контроля предполагает сбор информации количественного характера, который не требует длительных наблюдений, но показывает тенденцию развития радиационной обстановки. К эпизодическому (инспекционному) контролю относится, например, дозиметрический контроль рабочих мест с целью оценки условий труда. Периодический (текущий) контроль индивидуальных доз осуществляется, например, при индивидуальном дозиметрическом контроле внешнего облучения.

6.5. Классификация технических средств контроля по исполнению, связанному с местом размещения и способом применения при эксплуатации:

• стационарные (в том числе лабораторные);

• переносные;

• средства для индивидуального контроля;

• носимые, в т.ч. передвижные или подвижные (в т.ч. для аварийных ситуаций).

В зависимости от типа размещения предъявляются разные требования к механическим, электрическим, электромагнитным свойствам приборов в соответствии со стандартом МЭК 62706, ред.1, 2012-12, «Приборы радиационной защиты - Требования к окружающей среде и электромагнитным, механическим свойствам».

6.6. Классификация по методу и способу контроля параметров:

- непосредственный контроль;
- контроль с отбором и подготовкой проб;
- контроль с накоплением радиационного воздействия.

6.7. Классификация технических средств для непрерывного контроля радиационной обстановки:

- одноканальные;
- многоканальные (от двух и до любого числа каналов).

6.8. Приборы КРО, контролирующие параметры полей ионизирующего излучения, подразделяются по характеру полей: приборы, контролирующие параметры непрерывных полей, и приборы, контролирующие параметры импульсных полей. Дозиметрия импульсных полей ионизирующего излучения имеет особенности, обсуждаемые в МУ 2.6.5.037-2016.

6.9. Технические средства (кроме пассивных, накопительных дозиметров) должны обеспечивать звуковую, световую или другую сигнализацию о превышении заданных уровней параметров, характеризующих радиационную обстановку.

6.10. Автоматизированная система радиационного контроля объектов I и II категории может использовать технические средства следующего назначения:

- для текущего (непрерывного) контроля - стационарные автоматизированные технические средства;
- для операционного контроля - переносные и носимые, а также, в особенности в аварийных ситуациях, передвижные или подвижные;
- для лабораторного анализа - лабораторная аппаратура, средства отбора и подготовки проб для анализа.

Периодичность контроля должна определяться в зависимости от прогнозируемого или реально зафиксированного состояния радиационной обстановки.

6.11. Автоматизированные системы должны обеспечивать контроль, регистрацию, отображение, сбор, обработку, анализ хранения получаемой информации и выдачу отчетной информации, а также сигнализацию о превышении заданных уровней параметров, характеризующих радиационную обстановку.

6.12. В помещениях, где ведутся работы с нейтронными источниками с выходом нейтронов более 10^9 нейтр./с, с делящимися материалами в количествах, при которых возможно возникновение самопроизвольной цепной реакции деления, а также на ядерных реакторах и критических сборках и при других работах I класса с открытыми источниками излучения, где радиационная обстановка при проведении работ может существенно изменяться, необходимо применять приборы радиационного контроля со звуковыми и световыми сигнализирующими устройствами, а персонал должен быть обеспечен аварийными дозиметрами.

7. Общие технические требования к средствам контроля радиационной обстановки

7.1. Технические, метрологические и эксплуатационные характеристики приборов КРО определяются нормативными требованиями, производственной необходимостью и целесообразностью, возможностями приборостроения и требованиями метрологии ионизирующего излучения. Требования к характеристикам приборов КРО приводятся в стандартах.

7.2. В настоящее время наиболее полный перечень стандартов по приборам КРО, разработанных в Техническом комитете 45 Международной электротехнической комиссии (МЭК) и Международной организации по стандартизации (ИСО), приведен в Приложении 5.

7.3. Общие положения стандартов МЭК

Требования к техническим, метрологическим и эксплуатационным характеристикам приборов КРО стандартов МЭК приведены в Приложениях 3 и 4 к данным МУ.

8. Требования к аппаратуре и организации контроля радиационной обстановки в случае аварий

8.1. Технические средства радиационного контроля должны обеспечить обнаружение радиационной аварии, а запланированные организационные мероприятия - обеспечить срочные меры по прекращению развития аварии, поддерживая контроль над источником излучения в аварийной ситуации.

8.2. Перечень основных технических средств, соответствующих выбранным техническим параметрам, для обнаружения и ликвидации последствий аварии:

- приборы контроля газоаэрозольных выбросов;
- приборы контроля жидких сбросов;
- автоматизированные системы контроля радиационной обстановки или единичные автоматизированные посты;
- специализированные посты и передвижные технические средства для отбора проб воды, воздуха, почвы и т.п.;
- переносные и лабораторные приборы, позволяющие измерять аварийные уровни мощности дозы излучения и аварийные уровни удельной (объемной) активности альфа-излучателей и аварийные уровни удельной (объемной) активности бета-, гамма-излучателей, выброс которых возможен на радиационном объекте, в различных пробах.

Технические средства контроля газоаэрозольных выбросов и жидких сбросов, учетные и оперативные средства ИДК, автоматизированные системы контроля радиационной обстановки способны работать как в нормальных, так и в аварийных условиях эксплуатации радиационного объекта. Работа в аварийных условиях накладывает дополнительные требования к переносным дозиметрам гамма-, бета- и рентгеновского излучений, которые приведены в Приложении 4.

8.3.Объекты I и II категорий рекомендуется оснастить подвижными радиометрическими лабораториями, оснащенными необходимой аппаратурой для контроля радиационной обстановки и отбора проб на территории СЗЗ и ЗН объекта.

8.4. Информация, получаемая с помощью аппаратуры контроля радиационной обстановки, должна обеспечивать возможность принятия своевременного и обоснованного решения для уменьшения последствий аварии и установления критериев для принятия неотложных мер по защите персонала, населения и объектов окружающей среды согласно табл. 6.3, 6.4 и 6.5 НРБ-99/2009.

8.5. Своевременная сигнализация о возможной аварийной ситуации может приводить к минимизации материального ущерба и ущерба персоналу от аварий. Требования к приборам КРО по обнаружению и сигнализации о СЦР из соответствующих стандартов приведены в Приложении 4.

9. Общие требования к метрологическому обеспечению измерений параметров радиационной обстановки

9.1. Службы организаций, осуществляющие радиационный контроль, должны быть аккредитованы в установленном порядке.

9.2. Для контроля радиационной обстановки должны применяться средства измерений утвержденного типа (прошедшие испытания и внесенные в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений) и периодически поверяемые в установленном порядке.

9.3. Методики выполнения измерений при контроле радиационной обстановки должны удовлетворять требованиям ГОСТ 8.638-2013 и МИ 2453-2015, быть аттестованы и зарегистрированы в Федеральном информационном фонде по обеспечению единства измерений в установленном порядке.

9.4. При оценивании результатов контроля радиационной обстановки следует руководствоваться Концепцией, представленной в Приложении 2.

10. Требования к представлению, протоколированию и хранению результатов контроля радиационной обстановки

10.1. Результаты контроля радиационной обстановки должны храниться на бумажном или электронном носителе.

Объем фиксируемой и сохраняемой информации определяется следующими задачами:

- статистической отчетностью перед органами государственного контроля;
- определением годовых эффективных доз внешнего облучения персонала и расчетом годовых эффективных доз внутреннего облучения персонала;
- отслеживанием динамики изменения всех контролируемых радиационных параметров, характеризующих состояние радиационной обстановки;
- фиксацией контролируемых радиационных параметров, характеризующих выбросы и сбросы с целью оценки и анализа загрязнения воздушной и водной среды;
- регистрацией уровня загрязнения объектов внешней среды (при необходимости, например после аварии).

10.2. В случае если значение измеряемой величины меньше нижнего предела диапазона измерения, результат контроля регистрируется равным пределу измерения.

Приложение 1 (информационное). Термины, определения и сокращения

В настоящих методических указаниях используются термины и определения, представленные в Приложении 1 Методических указаний «Определение индивидуальных эффективных и эквивалентных доз и организация контроля профессионального облучения в условиях планируемого облучения. Общие требования».

Сокращения:

АСРК – автоматизированная система радиационного контроля;

АСКРО – автоматизированная система контроля радиационной обстановки;

ЕГАСКРО – единая государственная АСКРО;

ИИИ – источник ионизирующего излучения;

ИСО – Международная организация по стандартизации, (International Organization for Standardization, ISO);

КРО – контроль радиационной обстановки;

КУ – контрольный уровень;

МВИ – методика выполнения измерений;

МУ – Методические указания;

МЭК – Международная электротехническая комиссия;

РО – радиационный объект;

СЗЗ – санитарно-защитная зона;

СРБ – служба радиационной безопасности

Приложение 2 (справочное). Концепция оценивания и представления результатов радиационного контроля

1. Настоящая концепция основывается на применении терминов и понятий в соответствии с:

- ГОСТ 8.638-2013 «ГСИ. Метрологическое обеспечение радиационного контроля. Основные положения»;
- ГОСТ Р 54500.3-2011 «Неопределенность измерения. Часть 3. Руководство по выражению неопределенности измерения»;
- РМГ 29-2013 «ГСИ. Метрология. Основные термины и определения».

2. Результат измерения величины – множество значений величины, приписываемых измеряемой величине вместе с любой доступной и существенной информацией.

Форма представления результатов радиационного контроля (РК) регламентируется методикой радиационного контроля (МРК). При этом обязательным является указание:

- измеренного (рассчитанного по результату измерений) значения контролируемой величины;
- оценки неопределенности измерений для доверительной вероятности $P = 0,95$.

3. При РК измерениям подлежат операционные величины, назначаемые для оценки нормируемых (контролируемых) величин на основе тех или иных дозиметрических моделей и их параметров. При этом особенностями измерений при РК являются:

- существенный вклад статистической составляющей неопределенности измерений, которую следует оценивать в конкретном измерении;
- наличие существенных факторов, влияющих на достоверность показаний средств измерений;
- особенности самого объекта РК.

4. Значение измеряемой (контролируемой) величины в РК в общем виде определяется уравнением измерений:

$$D = R \cdot f(c_j),$$

где R – показание средства измерений; $f(c_j)$ – функция, устанавливающая введение поправочных коэффициентов c_j, учитывающих влияние j-го фактора, в том числе c_0 – параметр, учитывающий особенности объекта РК и условия нормирования.

5. Неопределенность измерений – характеристика точности измерений искомой величины, определяющая разброс возможных при данном измерении значений, которые могли бы быть обоснованно приписаны измеряемой величине.

При РК неопределенность измерений оценивается как интервал вокруг измеренного значения величины, внутри которого с вероятностью P=0,95 находится действительное значение измеряемой величины.

Понятие «погрешность», которым характеризуют отличие от истинного (действительного) значения величины, не применимо к результату измерений.

6. В практике радиационных измерений используются:

- стандартная неопределенность измерений – оценка неопределенности для отдельных j-х составляющих, выраженная в виде среднего квадратического отклонения (СКО) σ_j;
- суммарная стандартная неопределенность измерений – оценка неопределенности для совокупности всех составляющих, выраженная в виде СКО (σ);
- расширенная неопределенность измерений u - произведение суммарной стандартной неопределенности и коэффициента охвата k, принимаемого для учета выбранной доверительной вероятности.

7. Стандартные неопределенности оцениваются отдельно для каждой составляющей, и вместе они образуют бюджет неопределенности измерений.

Суммарная стандартная неопределенность измерений рассчитывается суммированием j-х составляющих неопределенностей с учетом их вкладов в соответствии с уравнением измерений:

$$\sigma = \sqrt{\sum_j (\omega\sigma)_j^2},$$

$$\text{где: } \omega = \frac{df(c_j)}{dc_j};$$

8. Расширенная неопределенность измерений рассчитывается как

$$u = k \cdot \sigma$$

где: k – коэффициент расширения (в РК для доверительной вероятности P = 0,95 принимается k = 2).

Способы оценивания неопределенностей измерений

9. Различают два способа оценивания:

- по типу А – оценивание составляющих неопределенности путем статистического анализа измеренных значений величин, полученных при определенных условиях;
- по типу В – оценивание составляющих неопределенности способами, отличными от оценивания по типу А.

10. При оценивании неопределенности по типу А стандартная неопределенность рассчитывается как среднее квадратическое отклонение для среднего арифметического значения для ряда значений величины в данных измерениях.

Относительная стандартная неопределенность:

$$\sigma_A = \frac{1}{x}\sqrt{\frac{\sum_i (x_i - X)^2}{n(n-1)}} = \frac{1}{x}\sqrt{\frac{\sum_i x_i^2 - nX^2}{n(n-1)}},$$

где: x_i – значение в i-ом наблюдении (i = 1, 2 ..... n),

$X = \sum_i \frac{x_i}{T}$ – среднее арифметическое значение.

Для средства измерений, показания которого основываются на числе зарегистрированных отсчетов N (т.е. $X = \varepsilon \cdot N$, где ε – коэффициент преобразования), в качестве относительного СКО может приниматься $\sigma = \varepsilon/\sqrt{N}$. Однако следует иметь ввиду, что для получения надежного результата предпочтительно вместо выполнения одного наблюдения с большим N выполнять многократные наблюдения с меньшими N с последующей обработкой по вышеуказанному алгоритму.

11. При оценивании неопределенности по типу В используют оценки максимальных погрешностей δ или неопределенностей u составляющих величин (погрешности средств измерений, неопределенности поправочных коэффициентов, погрешность метода измерений и др.). Стандартная неопределенность для составляющих величин в этом случае оценивается как СКО в предположении равномерного распределения их погрешностей:

$$\sigma_B = \frac{1}{\sqrt{3}}\delta,$$

Составляющие неопределенности при радиационном контроле

12. При РК назначаются следующие составляющие неопределенности:

12.1. **Инструментальная** (приборная) неопределенность, обусловленная основной погрешностью средства измерений (оценивается по типу В);

12.2. **Измерительная** неопределенность, связанная с условиями измерений:

- статистическая составляющая неопределенности измерений (оценивается по типу А);
- обусловленные погрешностями (неопределенностями) поправочных коэффициентов C_j, вводимых для учета дополнительных погрешностей средств измерений (оцениваются по типу В).

12.3. **Интерпретационная** составляющая неопределенности, обусловленная особенностями объекта РК и представительностью РК (оцениваются по типу А и В в зависимости от задачи РК).

13. Суммарная стандартная неопределенность измерений оценивается по соотношению:

$$\sigma_D = \sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_S^2 + \sum_j \sigma_{C_j}^2 + \sigma_\delta^2}$$

где: σ_R – инструментальная неопределенность, обусловленная основной погрешностью средства измерений δ_Φ: $\sigma_R = \frac{1}{\sqrt{3}}\delta_\Phi$;

σ_S – статистическая неопределенность измерений в соответствии с п. 10;

σ_{c_j} – неопределенность, обусловленная погрешностью поправочного коэффициента c_j или j-ой дополнительной погрешностью средства измерения (если поправочный коэффициент не вводится, тогда $c_j = 1$):

$$\sigma_c = \frac{1}{\sqrt{3}}\delta_j$$

σ_0 – неопределенность интерпретации результата измерения в контрольной точке объекта применительно к объекту в целом или к заданным условиям нормирования.

14. При оценке неопределенности измерений операционных величин **не следует учитывать** неопределенности принятых в их обоснование моделей и их параметров.

Использование результатов РК

15. Множество значений контролируемой величины, представляющее результат РК задается диапазоном:

$$\{D_{мин}, D_{макс}\},$$

Здесь: $D_{мин} = D - U = D(1 - u)$; $D_{макс} = D + U = D(1 + u)$,

где: D - измеренное значение; U – абсолютная (в единицах измеряемой величины) неопределенность; u– относительная неопределенность.

16. Радиационному контролю присущи существенные неопределенности. Критерии подтверждения соответствия результатов РК установленным требованиям должны назначаться с учетом неопределенностей измерений и риска от принятия недостоверного решения. Критерии устанавливаются применительно к конкретным измерительным задачам РК и формулируются в методиках радиационного контроля.

17. Следует различать задачи РК:

17.1. **Достижение** четко детерминируемых эффектов с жесткими точностными требованиями.

17.2. **Подтверждение** гарантированного непревышения (превышения) установленных нормативов (предельно допустимых уровней).

17.3. **Регулирование** радиационной безопасности (РБ) с регистрацией официальных результатов РК.

18. В случаях решения задач по п.п. 17.1 и 17.2 для принятия решения по результатам РК используются $D_{макс}$ и $D_{мин.}$. Например: $D_{макс} \leq L$ или $D_{мин} \geq L$, где L – установленный норматив (контрольный уровень).

19. В случае решения задач по п.17.3 регистрируются и используются в учетных документах измеренные значения D с отдельным указанием неопределенности U.

При оценке соблюдения принципа нормирования РБ следует руководствоваться максимальным значением $D_{макс}$ с учетом неопределенности нормативов и риска принятия недостоверного решения.

20. Для обеспечения метрологической совместимости результатов измерений устанавливаемые критерии соответствия не должны нивелировать требования к точности измерений, а именно к измерительной составляющей неопределенности измерений.

Оценивание соответствия при многофакторном РК

21. Нормативы для контролируемых (операционных) величин устанавливаются исходя из монофакторного воздействия. При наличии нескольких параметров для РК объекта для оценивания соответствия объекта нормативным требованиям используется параметр соответствия B и неопределенность его определения u_B, рассчитываемые по совокупности результатов измерений всех нормируемых параметров:

$$B = \sum_k \left(\frac{D}{L}\right)_k ,$$

$$u_B = \sqrt{\sum_k \left(\frac{U}{L}\right)_k^2} ,$$

где k – индекс для обозначения соответствующего параметра.

Приложение 3 (справочное). Технические, метрологические и эксплуатационные требования к средствам контроля радиационной обстановки в соответствии со стандартами МЭК и ИСО

Общемировой опыт эксплуатации приборов КРО отражен в следующих общих положениях стандартов МЭК:

неопределенности результатов измерения имеют следующие источники:

- собственная погрешность средств измерения;
- неопределенность, обусловленная зависимостью чувствительности прибора от энергии и угла падения излучения на детектор измерителя;
- дополнительные неопределенности, обусловленные отличиями внешних условий измерения от установленных нормальных условий: температуры окружающей среды, давления, внешнего электромагнитного поля и др.

Собственная погрешность средств измерений определяется в стандартных условиях испытаний и обусловлена нелинейностью чувствительности и статистическими флуктуациями средства измерений.

Общие термины:

действительный диапазон измерения – диапазон значений измеряемой величины, в котором рабочие характеристики средства измерения удовлетворяют требованиям соответствующего стандарта.

время отклика приборов – время установления показания 90% нового значения при резком изменении мощности дозы. Требование к времени отклика является требованием как к чувствительности детекторов прибора, так и к алгоритму обработки сигналов в дозиметрах.

ограничение диапазона измерений: требование к линейности чувствительности ограничивает верхнюю границу, а требование к статистическим флуктуациям и времени отклика – нижнюю границу диапазона измерений приборов КРО.

калибровка дозиметров при мощностях доз менее 10 мкЗв/ч невозможна в стандартных условиях. Необходимость измерения прибором мощностей доз ниже 0,1 мкЗв/ч должна быть обоснована, и значения нижней границы диапазона измерения дозиметрами ниже 0,1 мкЗв/ч должны подтверждаться специальными исследованиями.

Автоматизированные многоканальные системы радиационного контроля (АСРК) должны обеспечивать контроль, регистрацию, отображение, сбор, обработку, анализ хранения получаемой информации и выдачу отчетной информации, а также сигнализацию о превышении заданных уровней параметров, характеризующих радиационную обстановку.

1. Составной частью АСРК являются стационарно закрепленные блоки детектирования, предназначенные для измерения мощностей доз гамма- и нейтронных излучений. Стационарные измерители мощности дозы ис-

пользуются для непрерывного контроля радиационной обстановки зон, в которых поле излучения может меняться со временем, например атомных станций, ускорителей частиц, лабораторий, в которых работают с высокой радиоактивностью, предприятий по переработке облученного топлива и т.д., а также для генерации аварийных сигналов там, где поле излучения превышает установленные предельные уровни.

Термины и определения стандартов МЭК для дозиметров гамма- и нейтронных излучений

действительный диапазон измерений – диапазон значений измеряемой величины, в котором рабочие характеристики дозиметра (измерителя мощности) эквивалента дозы удовлетворяют требованиям стандарта;

коэффициент вариации *(для оценки статистической флуктуации)* – отношение оценки стандартного отклонения *s* к среднему арифметическому значению совокупности *n* измерений;

отклик – отношение индицируемой дозиметром величины к условно истинной величине;

время отклика – время между первичным облучением детектора и достижением 90% показаний конечного значения мощности дозы дозиметра;

относительная погрешность показаний – отношение погрешности индикации измеряемой величины к условно истинной величине, выражаемое в процентах;

относительная собственная погрешность – относительная погрешность показаний устройства от образцового излучения в стандартных условиях калибровки;

эталонное излучение. Все испытания должны проводиться с использованием источника ^{137}Cs, если не указано иное. Отклик детектора к бета-излучению нуклида $^{90}Sr/^{90}Y$ (ИСО 6980-1 и ИСО 6980-3) должен быть заявлен производителем. При определении отклика к нейтронам необходимо использовать источники ^{252}Cf или $^{241}Am/Be$ (ИСО 8529).

1.1. Требования к основным техническим характеристикам стационарных дозиметров (измерителей мощности дозы) гамма-излучения приведены в стандарте ***МЭК 60532 , ред. 3, 2010-08, Приборы радиационной защиты – Стационарные измерители мощности дозы, приборы оповещения и мониторы рентгеновского и гамма-излучения с энергией от 50 КэВ до 7 МэВ.***

Требования к радиационным характеристикам

Линейность отклика при облучении эталонным излучением не должна превышать $\pm$ 30 % во всем действительном диапазоне измерений в стандартных условиях калибровки.

Примечание. Эта неопределенность является дополнительной к неопределенности условно истинного значения мощности дозы.

Изменение отклика с энергией излучения. Отклик в стандартном направлении для энергии фотонов от 80 кэВ до 1,5 МэВ должен быть в пределах от -

25 % до +40 %. Для узлов, предназначенных для использования в диапазоне энергий от 50 кэВ до 80 кэВ и/или больше, чем 1,5 МэВ, значение изменения отклика подлежит согласованию между покупателем и производителем. Если дозиметр должен быть использован в атомных энергетических установках, изменение отклика до 7 МэВ должно соответствовать требованиям, согласованным покупателем и производителем.

Изменение отклика с углом падения излучения. Изменение отклика с углом падения к стандартному направлению:

– должно находиться в пределах ±20 % для энергии гамма-квантов 661,6 кэВ и углов падения 0°, ±15°, ±30°, ±45°, ±60°;

- определяется производителем для энергии 83 кэВ и углов 0°, ±15°, ±30°, ±45°, ±60°;

- должно находиться в пределах ±30 % для энергии 59,5/60 кэВ и углов 0°, ±15°, ±30°, ±45°, ±60°, где это применимо. Производитель должен привести данные об отклике при угле падения 90°.

Отклик к бета-излучению (нейтронам) должен быть заявлен изготовителем, если предполагается использование детектора в присутствии бета-излучения (нейтронов).

Статистические флуктуации. Коэффициент вариации мощности дозы, обусловленный случайными флуктуациями, должен быть меньше 20% для наиболее чувствительного поддиапазона и 10% для других поддиапазонов.

Время отклика должно быть таким, что при резком изменении мощности дозы индикация должна достигнуть 90% нового значения за время:

- 60 с для мощностей доз меньше 60 мкЗв/ч;

- определяется по формуле: [60 – (мощность дозы – 60) х 50/940)] с, где мощность дозы в мкЗв/ч, для мощностей доз от 60 до 1000 мкЗв/ч;

- 10 с для мощностей доз более 1000 мкЗв/ч.

Метод испытаний предполагает изменение мощностей доз в 10 раз.

Разделы 7-8 стандарта предъявляют требования к электрическим, механическим характеристикам и характеристикам окружающей среды, а также к документации. В Приложении А стандарта (Мониторинг импульсного ионизирующего излучения) приведена информация об особенностях дозиметрии импульсного ионизирующего излучения.

1.2. Требования к основным техническим характеристикам стационарных дозиметров (измерителей мощности дозы) нейтронного излучения приведены в стандарте ***МЭК 61322, ред. 1, 1994-11, Приборы радиационной защиты – Стационарные измерители мощности эквивалента дозы, предупреждающие сборки и мониторы для нейтронного излучения от тепловой энергии до 15 МэВ.***

Стандарт распространяется на приборы, которые измеряют мощность амбиентного эквивалента дозы в диапазоне энергий от тепловых до 15 МэВ для целей радиационной защиты. Оборудование данного типа определяется как дозиметр нейтронного излучения. Как правило, диапазон измерения от 10 мкЗв в час и выше. Этот стандарт не может быть непосредственно приме-

ним к оборудованию для использования в импульсных радиационных полях, например исходящих от импульсного излучения или частиц на ускорителях.

Настоящий стандарт не распространяется на мониторы критичности, или узлы, предназначенные для предоставления информации о рабочих параметрах ядерных реакторов в целях контроля.

Требования к конструкции

Оборудование должно измерять мощность амбиентного эквивалента дозы в диапазоне энергий от тепловых нейтронов до нейтронов с энергиями 15 МэВ.

Любая задержка больше, чем 2 с, в активации сигнализации должна быть такой, чтобы доза в результате этой задержки не была бы более 100 мкЗв.

Действительный диапазон измерения должен охватывать по крайней мере 4 декады. Типичный действительный диапазон – *от 10 мкЗв/ч до 100 мЗв/ч.* Если может потребоваться измерение мощности эквивалента дозы до 1 Зв/ч или выше, это должно быть включено в соглашение между потребителем и изготовителем.

При высоких мощностях эквивалента доз рекомендуется, когда это возможно, в пределах, установленных для статистических флуктуаций, снижать время отклика. При сокращении времени отклика много ниже 1 с необходимо уменьшить статистические флуктуации.

Требования к испытаниям

Должно использоваться эталонное излучение нейтронных источников Am-Be, ^{252}Cf или $D(d,n)^3He$. Угол падения излучения - направление калибровки ±10°.

В стандартных условиях калибровки *относительная собственная погрешность* не должна быть более ±30 %.

Для целей радиологической защиты желательно, чтобы изменение отклика с энергией нейтронов на заданном интервале энергий не превышало 50%.

В диапазоне углов падения излучения от 0 до 120° изменение относительного отклика не должно быть больше ± 25%. Изготовитель должен указать относительное изменение отклика для углов больше ± 120°.

Статистическая флуктуация: коэффициент вариации должен быть не больше ±20%.

Время отклика до достижения показаний 90% от нового значения при резком изменении мощности дозы должно быть:

< 100 с для мощности дозы H*(10) менее 0,1 мЗв/ч;

< 30 с для H*(10) между 0,1 мЗв/ч и 1 мЗв/ч;

< 10 с для H*(10) больше 1мЗв/ч.

В других разделах стандарта приведены требования к электрическим, электромагнитным, механическим характеристикам и характеристикам окружающей среды, к перечню документации. В Приложениях приведены конверсионные коэффициенты между флюенсом нейтронов и дозой H(10) разных энергий нейтронов и спектров образцовых нейтронных источников и*

руководство по количеству независимых показаний приборов, необходимых для установления истинного различия индикации.

2. Радиометрические установки для контроля объемной активности альфа- и бета-излучающих аэрозолей, радиоактивных инертных газов, изотопов йода и трития могут применяться для КРО как автономно, так и в составе АСРК. Высокая объемная активность сигнализирует об опасности внутреннего облучения персонала и о выходе работ технологических установок за допустимые пределы.

Термины для радиометров аэрозолей, радиоактивных инертных газов, изотопов йода и трития

действительный диапазон измерения – диапазон измерения, в пределах которого выполняются требования стандарта;

коэффициент вариации – отношение стандартного отклонения к среднеарифметическому значению совокупности *n* измерений;

погрешность показаний – разность между индицируемой активностью и условно истинной активностью в точке измерения;

относительная собственная погрешность – погрешность показания прибора по отношению к заданной активности при заданных эталонных условиях.

2.1. Требования к характеристикам установок контроля концентрации аэрозолей изложены в стандарте ***МЭК 61172 (1992-09) Ред. 1.0, Приборы радиационной защиты – Оборудование мониторинга – Радиоактивные аэрозоли в окружающей среде.***

Термины

монитор аэрозолей в окружающей среде - оборудование для постоянного измерения объемной активности аэрозолей в окружающей среде с устройством предупредительной сигнализации, срабатывающей при превышении установленного уровня;

условно истинная интенсивность поверхностного испускания – наилучшая оценка интенсивности поверхностного испускания для данного телесного угла радиоактивного источника, используемого для калибровки оборудования;

время отклика – время между началом облучением прибора излучением данной интенсивности и достижением показания 90 % равновесия или для интегрирующих мониторов 90% равновесного значения первой производной (угла наклона) показания.

Требования к характеристикам

Контрольный источник, поставляемый вместе оборудованием, должен быть сконструирован так, что его можно было установить в устройство улавливания аэрозолей вместо фильтра.

Воздушный насос. Запрещается использовать воздушные насосы, оснащенные коллекторными электродвигателями.

Устройства сигнализации. Все схемы аварийной сигнализации должны обеспечивать локальную визуальную индикацию на мониторе, а также управлять работой двух наборов переключающих контактов (которые могут быть общими для всех сигнализаций о неисправности) для внешних устройств сигнализации.

Устройство удержания аэрозолей. Фильтры для альфа-излучающих аэрозолей желательны стеклянные или пластмассовые.

Детектор излучения. Площадь детектора должна быть равна площади поверхности улавливания аэрозолей. Максимальная суммарная эквивалентная толщина окна должна выбираться в соответствии с видом излучения. Для альфа-частиц – менее 2 мг·см$^{-2}$ (потеря энергии, эквивалентной 3,2 МэВ).

Дискриминация естественного излучения. Серьезная проблема в мониторинге малых уровней объемной активности в воздухе связана с присутствием естественных радионуклидов, таких как радон и торон и их дочерние продукты, а также с вариацией их объемных активностей в воздухе в зависимости от времени суток, погоды, условий проветривания и т.д. Есть несколько способов отделить такое воздействие:

- измерение с задержкой после соответствующего распада естественных радионуклидов (которые в большинстве являются короткоживущими);
- спектрометрические измерения;
- измерения, связанные с другими физическими свойствами естественных радионуклидов, например измерения псевдосовпадений;
– химические методы выделения;
– отбор по размеру частиц.

Требования к испытаниям

Стандартные условия испытаний: используются эталонные источники бета-излучения ^{204}TI или ^{36}CI, эталонное альфа-излучение - ^{241}Am или ^{239}Pu.

Энергия бета-излучения от ~150 кэВ до ~ 2,5 МэВ в соответствии со спецификациями изготовителя; энергия альфа-излучения – в соответствии с соглашением между изготовителем и покупателем.

Условно истинная интенсивность поверхностного испускания контрольных источников должна быть известна с точностью до ±10 %

Перекрестная чувствительность к альфа- и бета-излучению. Если аппаратура используется для измерения только бета- или альфа-активности в смешанном альфа- и бета радиоактивном аэрозоле, результаты измерения могут быть изменены под воздействием другого излучения. У альфа-монитора чувствительность к бета-излучению не должна быть больше одной сотой чувствительности к эталонному альфа-излучению; у бета-монитора чувствительность к альфа-излучению не должна быть больше одной десятой чувствительности к эталонному бета-излучению.

Чувствительность к внешнему гамма-излучению. Изготовитель должен указать минимальную регистрируемую активность в стандартных условиях испытаний при 10 мкГр/ч от ^{137}Cs.

Статистические флуктуации. Коэффициент вариации показания активности, обусловленной случайными флуктуациями, не должен быть больше 10% для любого уровня активности, превышающего уровень, соответствующий максимуму наименьшей значимой декады показания.

В других разделах стандарта приведены требования к документации.

2.2. Требования к характеристикам установок контроля концентрации инертных газов изложены в стандарте ***МЭК 62302, ред.1.0, 2007-09, Приборы радиационной защиты – Аппаратура для отбора проб и мониторинга радиоактивных инертных газов.***

Стандарт распространяется на аппаратуру, используемую для отбора проб и непрерывного измерения содержания радиоактивных инертных газов на рабочем месте, в газообразных выбросах в окружающую среду, а также в самой окружающей среде. Аппаратура предназначена для работы в нормальных условиях работы и аварийных условиях, как во время, так и после аварии. Присутствие радона и дочерних продуктов его распада может вносить значительные помехи в измерения инертных газов.

Термины

аварийные условия – условия, отклоняющиеся от условий нормальной работы, более серьезные, чем ожидаемые происшествия в процессе эксплуатации, включающие проектные аварийные ситуации и аварии с тяжелыми последствиями;

условно истинная активность – наилучшая оценка активности радиоактивного источника;

порог принятия решения – заданное значение объемной активности, которое позволяет принимать решение по каждому измерению с данной вероятностью ошибки о присутствии в данном измерении вклада, обусловленного физическим воздействием;

предел регистрации – наименьшее измеряемое значение, количественно определяющее физическое явление, которое может быть зарегистрировано с данной вероятностью погрешности с помощью данного метода измерения;

инертный газ – радиоактивные инертные газы, имеющие отношение к данному стандарту, включают в себя ^{41}Ar, ^{85}Kr, ^{133}Xe и ^{135}Xe. Изотопы Rn в их число не входят;

время отклика – время, которое требуется на то, чтобы изменение выходного сигнала после ступенчатого изменения измеряемой величины впервые достигло 90% от его конечного значения;

отклик к эталонному излучению – при стандартных условиях испытаний отношение показания монитора к единичной эталонной активности;

передвижное оборудование – оборудование, предназначенное для размещения на месте в течение ограниченного времени и транспортируемое в

другие места для проведения измерений;

чувствительность для данного значения измеренной величины – отношение изменения наблюдаемой переменной к соответствующему изменению измеренной величины.

Классификация мониторов инертных газов

В стандарте проводится классификация мониторов инертных газов:

- *регистрация гамма-излучения* (лучше всего подходит для контроля ^{41}Ar);
- *регистрация бета-излучения;*
- *регистрация смеси бета/гамма- излучений;*
- *регистрация конкретного радионуклида* (лучше всего подходит для контроля ^{41}Ar).

Диапазон измерений

Мониторы с диапазоном активностей *низкого уровня* (R) $0 < R < 10$ МБк/м^3.

Мониторы с диапазоном активностей *высокого уровня* ($R \geq 10$ МБк/м^3).

Вид установки и/или источник питания

Питание стационарных или передвижных мониторов инертных газов осуществляется в основном от сети, но возможно также резервное батарейное питание. У стационарных мониторов, как правило, есть выходы для связи с централизованной системой радиационного контроля.

Портативные мониторы питаются главным образом от батарей и обычно переносятся с места на место. Их питание также может осуществляться от сети через внутренний или внешний преобразователь, они также могут соединяться с централизованной системой.

Методы регистрации

Для измерения объемной активности инертных газов может использоваться вся номенклатура детекторов излучений, включая ионизационные камеры, пропорциональные счетчики, счетчики Гейгера-Мюллера, твердотельные детекторы, неорганические и органические сцинтилляторы и комбинации детекторов.

Эталонный источник

Условно истинная активность источников должна быть известна с неопределенностью менее 10 % ($k = 2$).

Отклик к эталонному излучению

В стандартных условиях испытаний отклонение отклика к эталонному излучению должно составлять не больше $\pm$15 %.

Линейность

В стандартных условиях испытаний максимальное значение основной собственной погрешности должно быть менее ±10 % для всего действительного диапазона измерения. Неопределенность активности радиоактивного(ых) источника(ов) в него не входит.

Время отклика включает в себя время воздухообмена в детекторе. Время отклика определяется в виде промежутка времени между начальным моментом, когда вводится инертный газ, и моментом, когда показание впервые достигает значения $0{,}90 \cdot (R_f - R) + R$.

Статистические флуктуации

Коэффициент вариации, обусловленный статистическими флуктуациями, для показания, превышающего наименьшее значение действительного диапазона измерений в 10 раз, должен составлять менее 15 %.

Точность измерения объема и расхода

Результаты измерений не должны отклоняться от истинного отбираемого объема более чем на ±10 %.

В разделах 8, 9, 10 стандарта приведены требования к электрическим, радиотехническим, механическим и климатическим испытаниям.

2.3. Требования к характеристикам установок для контроля концентрации радиоактивных йодов изложены в стандарте ***МЭК 61171, ред. 1.0, 1992-09, Приборы радиационной защиты – Аппаратура контроля - радиоактивные изотопы йода в атмосферном воздухе окружающей среды***

Стандарт распространяется на переносное или стационарное оборудование, предназначенное для контроля содержания радиоактивных изотопов йода (например, ^{131}I, ^{125}I) в атмосферном воздухе окружающей среды ядерной установки во время нормальной работы, предвидимых нарушений функционирования или в аварийных ситуациях. Контроль включает в себя постоянный отбор проб с возможностью, при необходимости, автоматического запуска отбора проб. Стандарт ограничивается требованиями к оборудованию для контроля изотопов йода в атмосфере и не касается отбора пробы и последующего лабораторного анализа.

Термины

монитор радиоактивного йода – монитор, предназначенный для измерения радиоактивных изотопов йода, выбрасываемых в атмосферный воздух;

радиоактивный йод может находиться в газообразной, парообразной или аэрозольной форме, а также в виде химических соединений;

условно истинная интенсивность поверхностного испускания – наилучшая оценка интенсивности поверхностного испускания для данного

телесного угла радиоактивного источника, используемого для калибровки оборудования;

минимальная регистрируемая активность – активность, дающая среднее показание, которая в присутствии установленного фона обеспечивает 95 % вероятность того, что данное показание обусловлено не только установленным фоном.

Общие положения контроля атмосферных изотопов йода

Самый большой интерес представляют радиоактивные изотопы йода в атмосферном воздухе, существующие в газообразной форме (или частицы нерадиоактивного аэрозоля, содержащие изотопы йода), в виде молекулярного йода, в виде летучих органических соединений или в виде HOI. Измерение радиоактивных изотопов йода зависит от селективного отделения конкретных видов от других радиоактивных атмосферных аэрозолей и газов при отборе данного объема атмосферного воздуха. Радиоактивные инертные газы можно отделить от газообразных соединений йода с помощью химически селективной среды, которая удерживает интересующие формы йода, но не удерживает инертные газы.

На практике проба воздуха вначале проходит через фильтр для задержания частиц примесей, чтобы удалить радиоактивные вещества, связанные с атмосферными аэрозолями. Затем воздух пропускается через одно или более адсорбирующих сред, которые селективно задерживают необходимые радиоактивные изотопы.

Остаточные инертные газы в адсорбирующей среде (при необходимости) можно выдуть продувочным газом, чтобы перед измерением удалить остаточную активность. Процедура продувания не должна влиять на удержание радиоактивных изотопов йода.

Радиоактивные изотопы йода, собранные в адсорбирующей среде и на фильтре, можно измерять постоянно, с перерывами или по окончании процедуры отбора пробы.

Измерение выполняется детектором, который адекватно чувствителен к интересующему излучению от радиоактивных изотопов йода и экранируется от интерферирующих излучений и естественного фона. Альтернативно, интерферирующее излучение может быть дискриминировано, если система детекторов обладает адекватным разрешением.

Следует отметить, что удержание различных форм изотопов йода будет существенно меняться в зависимости от данной среды и других условий.

Классификация мониторов

Селективные мониторы – для селективного измерения конкретного радиоактивного изотопа йода или конкретных химических форм. Неселективные мониторы – для общего измерения радиоактивных изотопов йода.

Общие положения

В стандарте определяются рабочие характеристики мониторов радиоактивного йода, которые обеспечивают отдельные возможности для:

а) постоянного контроля одного или более радиоактивных изотопов йода в одной или более химических или физических формах;

б) отбора проб постоянно, с перерывами или при превышении определенного порога концентрации для последующего лабораторного анализа (при необходимости).

Минимальная регистрируемая активность. Изготовитель должен указывать достижимую минимальную регистрируемую концентрацию интересующих радионуклидов в виде функции внешнего фона на прибор.

Входной фильтр. На вход пробоотборного тракта необходимо поместить фильтр для удаления из воздуха пыли или аэрозолей, радиоактивных или в виде взвесей, включая твердые дочерние продукты радона.

Улавливающие средства. Могут использоваться фильтры, пропитанные специальными веществами для селективного улавливания изотопов йода, или картриджи, содержащие такие адсорбирующие вещества.

Отклик к эталонному излучению. Изготовитель должен указывать взаимосвязь между индикацией, выдаваемой установкой для измерений, и активностью эталонного источника при эксплуатации аппаратуры в стандартных условиях.

Эталонные источники. Испытания должны проводиться с твердотельными источниками соответствующей геометрии и применимыми к соответствующим изотопам, для измерения которых предназначено данное оборудование.

Точность отклика к соответствующей активности. В стандартных условиях испытаний *относительная собственная погрешность* не должна превышать во всем действительном диапазоне измерения ± 20 % условно истинной интенсивности поверхностного испускания эталонного источника.

Отклик к внешнему гамма-излучению. При воздействии на детектор внешнего гамма-излучения с мощностью поглощенной дозы в воздухе 10 мкГр·ч$^{-1}$ от источника ^{137}Cs показание установки обычно должно превышать вдвое показание, соответствующее минимальной регистрируемой активности, указанной изготовителем. Если нет иных соглашений между изготовителем и покупателем, чувствительность к внешнему гамма-излучению с энергией 1,3 МэВ (^{60}Co) не должна превышать в четыре раза указанную минимальную регистрируемую активность.

Статистические флуктуации. Коэффициент вариации показания активности, обусловленной случайными флуктуациями, должен быть меньше 10 % для любого уровня активности, превышающего уровень, соответствующий максимальному показанию в наименьшей значимой декаде.

В других разделах стандарта приведены требования к электрическим, механическим и климатическим характеристикам.

2.4. Требования к характеристикам установок для контроля концентрации трития изложены в стандарте ***МЭК 62303 ред. 1 (2008-12) Приборы радиационной защиты – Оборудование для мониторинга трития в воздухе***

Стандарт распространяется на оборудование, используемое для отбора проб и непрерывных измерений трития на рабочем месте, в газовых выбросах, а также в атмосфере, и он применим к стационарным установкам, портативному и подвижному оборудованию.

Термины

порог принятия решения - заданное значение величины принятия решения, по которому принимается решение о присутствии физического воздействия;

предел обнаружения - наименьшее истинное значение измеряемой величины, которое можно обнаружить с помощью метода измерения.

Классификация мониторов

Мониторы трития классифицируются:

- по селективности химической формы трития (например, газообразные, паровые формы; меченый тритием водяной пар);
- по методу отбора проб (например, проточные с одновременным измерением; последовательные с отбором проб на адсорбер с дальнейшим измерением);
- с диапазоном измерения объемной активности до 10 МБк/м^3 или с диапазоном измерения выше 10 МБк/м^3;
- для нормальных условий работы или аварийных ситуаций;
- локального считывания или сопряженный с централизованной системой;
- по типу монтажа и/или источника питания – стационарные или переносные мониторы.

Методы измерения. Стандарт не определяет, какой тип или типы детекторов излучения могут быть использованы для достижения требуемых характеристик.

Методы обнаружения. Стандарт не определяет, какой тип или типы детекторов излучения могут быть использованы для достижения требуемой производительности.

Диапазон измерения. Действительный диапазон измерения должен соответствовать конкретному применению. Значения самой низкой и самой высокой контролируемой концентрации должны быть согласованы между покупателем и производителем.

Входной фильтр. Фильтр должен быть помещен в держатель фильтра на входе схемы выборки для удаления пыли и аэрозолей из воздуха. Фильтродержатель должен быть съемным и быть плотно прижатым к фильтру. Должна быть разработана система сигнализации значительного перепада давления из-за дефектного фильтра. Должна быть предусмотрена возможность легкой смены фильтра.

Детектор излучения. Изготовитель должен указать характеристики детектора, в том числе тип и размеры детектора, объемы камеры и линии отбора проб.

Детекторы компенсации. Еще один детектор может быть использован изготовителем, чтобы компенсировать фон гамма-излучения и/или влияние радона и дочерних продуктов радона в пробе газа.

Образцовый отклик. В стандартных условиях испытаний отклонение образцового отклика должно быть менее ± 15%.

Линейность. В стандартных условиях испытаний максимальное значение относительной собственной погрешности должно быть менее ± 15% для всего действительного диапазона измерения. *В данное значение неопределенность параметров радиоактивных источников не включена.*

Время отклика. Изготовитель должен указать время отклика установки. Время отклика включает в себя время обновления воздуха в объеме детектора.

Отклик на гамма-излучение. Изготовитель должен указать порог принятия решения, когда монитор подвергается облучению с мощностью кермы в воздухе 10 мкГр/ч источником ^{137}Cs. Отклик на гамма-излучение в любой ориентации и любой энергией гамма-излучения до 1,3 МэВ (^{60}Co) не должен превышать в два раза это значение.

Статистические флуктуации. Коэффициент вариации показаний из-за статистических флуктуаций должен быть меньше, чем 15%, для любого показания, превышающего в 2 раза наименьшее значение действительного диапазона измерения.

В других разделах стандарта приведены требования к электрическим, механическим и климатическим характеристикам.

3. Самой важной и основной задачей отбора проб газоаэрозольных выбросов является защита людей от поступления радиоактивных веществ в количествах, превышающих норму. Хорошо развитая программа отбора проб и оценки позволяет определить выброс радиоактивных веществ в окружающую среду путем отбора проб вблизи точки выброса. При нерядовых происшествиях пробы выбросов являются материалом, важным для оценки возможных последствий и необходимых корректирующих действий, или в некоторых случаях для определения причины и следствий аварийных событий. Отбор проб позволяет проводить измерение величины суммарного радиоактивного выброса за различные периоды времени. Принципы, применяемые для получения репрезентативной пробы, определяются в стандарте ИСО: ***ISO 2889:2010 Sampling airborne radioactive materials from the stacks and ducts of nuclear facilities***.

Технические требования, приводимые в данном документе, относятся к оборудованию для постоянного контроля радиоактивности в газообразных выбросах. Они относятся к оборудованию *оперативного контроля* и не касаются оборудования *текущего контроля* для отбора проб и лабораторного анализа.

Хотя основные принципы получения репрезентативных проб радиоактивных веществ, находящихся в воздухе, применимы ко всем радиоактивным веществам, встречающимся в воздухе, но имеются различия в методах пробоотбора и материалах для отбора проб газов и частиц. Поэтому в данных МУ приводятся общие и частные требования стандартов МЭК по контролю радиоактивных аэрозолей, инертных газов, изотопов йода и трития.

Общие термины для стандартов по мониторам для контроля газоаэрозольных выбросов

действительный диапазон измерения – диапазон значений измеряемой активности, в котором характеристики оборудования соответствуют требованиям стандарта;

монитор для контроля газообразных выбросов – оборудование, предназначенное для постоянного контроля радиоактивности в газообразных выбросах;

коэффициент вариации – отношение оценки стандартного отклонения s к среднему арифметическому значению совокупности n измерений;

неопределенность измерений – параметр, связанный с результатом измерения, характеризующий разброс значений, которые можно было бы разумным образом приписать измеряемой величине;

время отклика – время, которое требуется на то, чтобы изменение выходного сигнала после ступенчатого изменения измеряемой величины впервые достигло данной процентной доли, обычно 90 %, от его конечного значения;

погрешность показания – разность между индицируемым значением (ν) величины и условно истинным значением (ν_c) этой величины в точке измерения;

относительная собственная погрешность – относительная погрешность показания единичного экземпляра оборудования относительно величины, подвергающейся воздействию заданной эталонной величины при заданных эталонных условиях.

3.1. Общие требования к установкам для контроля радиоактивности в выбросах приведены в стандарте ***МЭК 60761 (2002-01) Ред. 2 Приборы радиационной защиты – Оборудование для постоянного контроля радиоактивности в газообразных выбросах.***

Стандарт распространяется на оборудование для постоянного контроля радиоактивности в газообразных выбросах при нормальной работе и при предвидимых нарушениях работы. Стандарт неприменим к оборудованию, предназначенному для использования в аварийных ситуациях. Стандарт ограничивается требованиям к оборудованию для постоянного контроля радиоактивности в газообразных выбросах. Он не касается отбора проб и лабораторного анализа.

Термины

порог принятия решения – заданное значение величины принятия решения, по которому при превышении результата физического измерения измеряемой величины, определяющей количественно физическое воздействие, принимается решение о присутствии физического воздействия.

Примечание. Статистические испытания должны быть спланированы так, чтобы вероятность ошибочного отклонения гипотезы (погрешность первого типа) была равна значению α. Для настоящего стандарта α составляет 5 %;

предел регистрации – наименьшее истинное значение измеряемой величины, которое может быть зарегистрировано с помощью данного метода измерения.

Примечание. Предел регистрации – это наименьшее истинное значение измеряемой величины, которое связано со статистическим испытанием или гипотезами (см. «величину принятия решения») следующими характеристиками: если в действительности истинное значение равно пределу регистрации или превышает его, вероятность неотклонения по ошибке гипотезы (погрешность второго типа) должна равняться, самое большее, данному значению β. Для настоящего стандарта β составляет 5 %;

чувствительность – для данного значения измеренной величины - отношение изменения наблюдаемой переменной к соответствующему изменению измеренной величины.

Общие требования

Характеристики оборудования для контроля радиоактивных выбросов должны обеспечить уверенность в том, что выбросы предприятия соответствуют разрешенным ограничениям на выброс.

Типы мониторов. Типы рассматриваемых мониторов для газообразных выбросов включают в себя мониторы радиоактивных аэрозолей, мониторы радиоактивных инертных газов и мониторы конкретных радионуклидов. Они подробно рассматриваются в других частях стандарта, однако в нижеприведенном описании подчеркиваются их некоторые особенности.

Отбор проб в выбросах. Принципы, применяемые для получения репрезентативной пробы, в стандарте не рассматриваются, они определяются в стандарте ISO 2889.

Накопление активности. В том случае, если прямое измерение выходящего потока или репрезентативной пробы оказывается неосуществимым из-за низкой объемной активности выходящего потока, могут быть рассмотрены различные методы накопления активности перед измерением. Существуют два подхода:

- измерение активности во время накопления;
- измерение после накопления с постоянным повтором цикла накопления /измерения.

Характеристики расхода

Измерение расхода. Если метод измерений чувствителен к расходу, должно быть предусмотрено устройство регулирования расхода с сигнализацией о превышения порога по расходу для предупреждения о любом чрезмерном отклонении расхода. Расход воздуха должен измеряться на участке после улавливающей среды и до насоса.

Испытания, проводимые в стандартных условиях испытаний

Линейность. При стандартных условиях испытаний относительная погрешность индикации должна быть менее ±10 % для всего действительного диапазона измерений. Неопределенность условно истинного значения активности каждого источника в абсолютном выражении должна быть менее 10 % (k = 2).

Примечание. Неопределенность радиоактивного источника не входит в это значение.

Статистические флуктуации. Коэффициент вариации показаний активности вследствие статистических флуктуаций должен быть менее 10 % для показания, превышающего первую декаду действительного диапазона измерений.

Эффективность регистрации неспецифического излучения. Если оборудование используется для измерения альфа- и бета-активностей в выбросе со смешанной альфа-бета-активностью, в измерения могут быть внесены помехи воздействия другого излучения. Предел изменения эффективности регистрации неспецифического излучения должен быть менее 2 % для бета-источников, измеряемых по альфа-каналу, и менее 25 % для альфа-источников, измеряемых по бета-каналу.

В других разделах стандарта приведены требования к электрическим, механическим и климатическим характеристикам.

3.2. Требования к установкам для контроля аэрозолей в выбросах приведены в стандарте ***МЭК 60761-2 (2002-01) Ред. 2 Приборы радиационной защиты – Оборудование для постоянного контроля радиоактивности в газообразных выбросах - Часть 2: Специальные требования к устройствам, контролирующим содержание радиоактивных аэрозолей в газообразных выбросах***

Эта часть стандарта МЭК 60761 распространяется на оборудование, предназначенное для измерения радиоактивных аэрозолей в газообразных выбросах в окружающую среду. Он применим к оборудованию, предназначенному для выполнения следующих функций:

- измерение объемной активности (Бк/м^3) аэрозолей в газообразных выбросах и/или высвобождаемой суммарной активности (Бк);
- генерация аварийного сигнала в случае превышения заданного уровня объемной активности или заданного уровня высвобождаемой суммарной активности.

Данное оборудование предназначено для измерения активности во всем диапазоне, включая очень небольшие величины в присутствии намного бóльшего естественного фона. Дочерние продукты ^{222}Rn (радона) и ^{220}Rn (торона) являются природными аэрозолями, вносящими вклад в естественный фон. При контроле активности низкого уровня важной проблемой может быть отделение ее от естественной активности. Для получения более подробных данных можно провести дополнительный и ретроспективный лабораторный анализ фильтров после накопления на них активности.

Целью стандарта является установление стандартных специальных требований, включая определение технических характеристик и общих условий испытаний, а также приведение примеров допустимых методов для устройств, контролирующих содержание аэрозолей в газообразных выбросах.

Термины

аэрозоли – взвесь жидких или твердых частиц в воздухе или газе;

эквивалентный аэродинамический диаметр - диаметр сферы единичной плотности, имеющей такую же скорость гравитационного осаждения, что и рассматриваемая частица;

медианный по активности аэродинамический диаметр (AMAD) – значение аэродинамического диаметра, при котором 50% взвешенной в воздухе активности данного аэрозоля связаны с частицами, меньшими чем AMAD, и 50% активности обусловлено частицами, по своему размеру превышающими AMAD;

монитор аэрозолей – оборудование, предназначенное для постоянного, с задержкой или последующего измерения активности аэрозолей в газообразных выбросах в окружающую среду;

суммарная эквивалентная толщина окна счетчика – эквивалентная толщина окна счетчика (или плотность), обычно выражаемая в массе на единицу площади (мг/см^2), которую пересекает частица, испускаемая с данной поверхности, улавливающей аэрозоли, чтобы достичь чувствительный объем детектора.

Примечание. В эту толщину входят расстояние, проходимое в воздухе, и толщина входного окна детектора, а также толщина любого покрытия детектора для защиты от радиоактивного загрязнения, вредных химикатов или водяного пара;

источник высокой производительности – источник, в котором выход частиц с энергией выше 5 кэВ превышает 0,25, включая отраженные частицы (это определение применяется к бета-излучателям с $E_{макс}$ >150 кэВ);

эффективность источника - наибольшее из двух отношений интенсивности поверхностного излучения к числу частиц одного и того же вида, создаваемых или высвобождаемых в единицу времени, либо в толщине источника, либо в слое насыщения источника.

Классификация устройств, контролирующих содержание аэрозолей в газообразных выбросах

Оборудование можно классифицировать по методу измерения, например:

- мониторы суммарных гамма-излучающих аэрозолей;
- мониторы суммарных бета-излучающих аэрозолей;
- мониторы суммарных альфа-излучающих аэрозолей;
- мониторы суммарных альфа- и бета-излучающих аэрозолей;
- альфа-спектрометрические мониторы;
- гамма-спектрометрические мониторы.

Оборудование можно также классифицировать *по методу работы*, например:

- оборудование с пробоотборником со статическим фильтром и одновременным измерением;
- оборудование с пробоотборником с подвижным фильтром и одновременным измерением;
- оборудование с пробоотборником с подвижным фильтром и измерением с задержкой;
- оборудование с пробоотборником с подвижным фильтром, одновременным измерением и измерением с задержкой;
- оборудование с пробоотборником со статическим фильтром и одновременным измерением совместно с пробоотборником с подвижным фильтром и одновременным измерением/измерением с задержкой;
- оборудование с импактором;
- оборудование с электрофильтром.

Требования к блоку отбора проб, детектирования:

- *важно свести к минимуму*, насколько это возможно, поглощение альфа-излучения улавливающей средой;
- *необходимо избегать значительной неоднородности* оседания аэрозолей, улавливаемых фильтром;
- *изготовитель должен указывать эффективность улавливания* блока отбора проб в диапазоне эквивалентного аэродинамического диаметра, по меньшей мере от 0,1 мкм до 10 мкм;
- полезная площадь поверхности детектирования детектора должна быть приблизительно равна поверхности, улавливающей аэрозоли;
- *для измерения суммарной активности аэрозолей* детектор может быть больше, чем улавливающая среда;
- *для альфа-спектрометрического измерения* оба эти размера должны быть одинаковыми;
- *максимальная суммарная эквивалентная толщина* должна выбираться в соответствии с типом регистрируемого излучения. При измерении суммарной альфа-активности – менее 2 мг/см^2 (потеря энергии, эквивалентной 3,2 МэВ).

Выражение результата измерения

Согласно требованиям параграфа 9 МЭК 60761-1, электронный блок измерений, связанный с детектором, должен обеспечивать вывод показаний, выраженных *непосредственно в единицах активности* (Бк, Бк/м^3).

Компенсация естественной активности

Самая сложная проблема контроля активности низкого уровня в воздухе или газе связана с присутствием естественных радионуклидов, переносимых по воздуху, таких как *радон* и *торон* и *их дочерние продукты*, а также с изменением их концентрации в воздухе или газе изо дня в день, в зависимости

от времени дня, погоды, условий вентиляции и т.д.

Существует несколько способов компенсировать воздействие естественных радионуклидов, переносимых по воздуху, включающих:

- выделение диапазона энергий (длины траектории) альфа-частиц;
- измерение с задержкой, т.е. после соответствующего распада естественных радионуклидов (которые в большинстве являются короткоживущими);
- спектрометрические измерения;
- измерения, связанные с другими физическими свойствами естественных радионуклидов, например измерения методом псевдо-совпадений;
- выбор размера детектируемых частиц.

В случае измерений с использованием *альфа-спектрометрического метода* для снижения самопоглощения должна выбираться соответствующая улавливающая среда.

Стандартные условия испытаний

Эталонные источники. Для определения чувствительности к эталонному излучению во время испытаний эталонным источником должен быть радиоактивный аэрозоль в воздухе с известной объемной активностью и медианным по активности аэродинамическим диаметром (AMAD), равным приблизительно 0,4 мкм.

В качестве альтернативы *вместо калиброванных радиоактивных аэрозолей* может использоваться калиброванный монитор.

Эталонное бета-излучение обычно обеспечивают такие эталонные источники, как ^{36}Cl, ^{204}Tl, или ^{137}Cs, *эталонное альфа-излучение* – эталонные источники ^{239}Pu или ^{241}Am, *гамма-излучение* – эталонный источник ^{137}Cs.

Конструкция твердотельных источников

Эталонные источники должны иметь ту же самую геометрию, что и улавливающая среда в рабочем положении. Эти источники должны быть прослеживаемы к национальному первичному эталону.

Неопределенности активности контрольных источников. Условно истинная объемная активность эталонного источника должна быть известна с неопределенностью менее ±10 % (k = 2).

Статические испытания. По договоренности между изготовителем и покупателем может использоваться статический метод испытаний с твердотельными источниками при условии, что он обеспечивают адекватное испытание оборудования. В этом случае обычно вместо *чувствительности монитора* проверяется *эффективность регистрации.*

Линейность. Применяются требования и методы испытания, описанные в МЭК 60761-1. Относительная погрешность показания должна быть менее ±10 % для всего *действительного диапазона измерений*

Изменение эффективности регистрации как функция энергии бета-излучения не должно превышать пределов, установленных изготовителем.

Испытания изменения эффективности регистрации в зависимости от

энергии альфа-излучения не требуются, т.к. обычно эффективность регистрации альфа-частиц не зависит от энергии.

Предел изменения эффективности регистрации должен быть менее 2 % для бета-источников, измеряемых по альфа-каналу, и менее 25 % для альфа-источников, измеряемых по бета-каналу.

Для данного оборудования *эффективность регистрации* (ε) в единицах скорости счета, связанной с интенсивностью поверхностного испускания с соответствующей поверхности, должна определяться как: *е = скорость счета / интенсивность поверхностного испускания.* Источники излучения необязательно должны иметь эталонные энергии, но должны быть способными вносить помехи, например ^{241}Am для альфа-частиц и ^{90}Sr + ^{90}Y для бета-частиц. Эффективность, выраженная в тех же единицах, что и $\varepsilon_{эт}$, должна быть: $\varepsilon \leq 0{,}02\ \varepsilon_{эт}$ для бета-излучения в альфа-канале и $\varepsilon \leq 0{,}25\ \varepsilon_{эт}$ для альфа-излучения в бета-канале.

3.3. Требования к установкам для контроля инертных радиоактивных газов в выбросах приведены в стандарте ***МЭК 60761-3 (2002-01) Ред. 2 Приборы радиационной защиты – Оборудование для постоянного контроля радиоактивности в газообразных выбросах – Часть 3: Специальные требования к мониторам инертных газов.***

Настоящая часть стандарта МЭК 60761 распространяется на оборудование, предназначенное для одновременного, с задержкой или последующего дискретного измерения радиоактивного инертного газа (ИРГ) в газообразных выбросах в атмосферу. Данная часть стандарта применима к устройствам, контролирующим содержание инертного газа в газообразных выбросах, для выполнения следующих функций:

- измерение объемной активности радиоактивных газов в газообразных выбросах в точке выброса и ее изменение со временем;
- генерация аварийного сигнала в случае превышения заданного уровня объемной активности или заданного уровня высвобождаемой суммарной активности;
- определение активности газа, выпущенного за данный период времени и/или данных о составе смеси различных газов в выбросе.

Радон является естественным радиоактивным инертным газом. Его измерение в стандарте не рассматривается. Присутствие радона или его дочерних продуктов может вносить помехи в измерение других (искусственных) радиоактивных газов.

Термины

монитор радиоактивного инертного газа – оборудование, предназначенное для постоянного контроля содержания радиоактивных инертных газов в газообразных выбросах в окружающую среду.

Классификация устройств, контролирующих содержание инертных газов в газообразных выбросах

Оборудование можно классифицировать в соответствии с видом регистрируемого излучения:

- гамма-излучение;
- бета-излучение;
- излучение специальных нуклидов.

Оборудование можно также классифицировать по методу работы:

- прямое измерение детектором в месте выброса или вблизи места выброса;
- постоянный контроль фракций пробы в контролируемой точке в удаленном режиме.

Оборудование для прямого измерения. Если измерение выполняется непосредственно с помощью детекторов в месте выброса или вблизи места выброса, в данных условиях окружающей среды должны эксплуатироваться только детектор и минимально необходимая электронная сборка. При отсутствии особых обстоятельств этот вид оборудования не должен включать в себя детекторы, особенно чувствительные к изменениям условий окружающей среды, и не требовать частых осмотров или регулировок.

Оборудование для косвенного измерения. В случае отбора постоянно репрезентативных проб в удаленном режиме блок проб и детектирования (кроме зонда для отбора проб и трубопровода) и блок управления и измерения должны находиться вблизи контролируемой среды.

Выражение результата измерений. Если необходимо, чтобы показания выдавались в производных единицах (например, Бк/м^3), изготовитель и покупатель должны быть уверены, что все коэффициенты согласованы.

Входное устройство. Следует учитывать, что изотопы йода являются предшественниками инертных газов.

Измерительная ячейка. Если в качестве элемента блока отбора проб и детектирования для обеспечения объема газа для измерения детектором, погруженным или помещенным вблизи места выброса, используется измерительная ячейка, должны применяться следующие требования:

- измерительная ячейка должна быть проточного типа. Она может содержать поглощающую среду или устройство, поддерживающее давление;
- необходимо указать объем и рабочее давление измерительной ячейки;
- (по возможности) детектор должен быть отделен от измеряемого газа или воздуха защитным окном или экраном;
- желательно, чтобы детектор можно было легко вынуть из камеры для обслуживания или замены.

Если для повышения чувствительности газового монитора к данному объему радиоактивного газа используется поглощающая среда, должен быть указан тип абсорбента.

Детектор излучения Изготовитель должен указывать тип детектора и все соответствующие характеристики, особенно чувствительность в рабочей геометрии к измеряемым активностям газов и интерферирующей активности.

Детектор бета-излучения Изготовитель должен указывать размеры детектора и характеристики детектирования, например эффективную площадь

и толщину защитного экрана и т.д.

Детектор гамма-излучения. Для этого вида монитора должно учитываться влияние фонового излучения.

Детектор гамма-излучения конкретных радионуклидов. Данный детектор объединяет в себе измерение гамма-излучения и спектрометрический анализ энергии гамма-излучения. Изготовитель должен указывать разрешение детектора и эффективность в виде функции энергии.

Контрольный источник. Данный источник предназначен для проверки правильной работы оборудования. Если детектор установлен на расстоянии от блока управления и измерения, должны быть приняты меры для дистанционного воздействия излучения контрольного источника на детектор (дистанционного управления). Если установленный контрольный источник не используется, он не должен повышать показание блока измерения более чем на 10 % максимального значения наименьшей декады действительного диапазона измерений.

Эталонные источники

Для типовых испытаний, описанных в данной части стандарта МЭК 60761, должны использоваться газообразные источники. Для других типовых испытаний и в качестве эталонов-переносчиков для стандартных испытаний и последующих проверок могут использоваться твердотельные источники. Чувствительность сборок к твердотельным источникам должна устанавливаться перекрестной калибровкой по газообразным источникам.

Газообразные источники. Газообразные источники могут состоять из баллонов со сжатым воздухом или газом, содержащим радиоактивный газ, с которым будут проводиться испытания сборки. Это может быть радиоактивный газ, для которого предназначена сборка, или другой газ, представляющий интерес.

Неопределенности активности источников, используемых для испытаний. Условно истинная объемная активность эталонного источника должна быть известна с неопределенностью менее ± 7 % (k = 2). Условно истинная интенсивность поверхностного испускания всех твердотельных источников для испытаний должна быть известна с неопределенностью менее ± 10 % (k = 2).

Твердотельные источники. Для стандартных испытаний вместо источников радиоактивного газа могут использоваться твердотельные источники, Такие источники должны иметь физическую форму, соответствующую испытываемой сборке, чтобы местоположение источника относительно детектора было фиксировано и при необходимости воспроизведено.

Чувствительность к эталонному излучению. В стандартных условиях испытаний *относительная собственная погрешность* должна составлять менее 15 %.

Калибровка с использованием твердотельных источников. Установить соответствующий твердотельный источник в заданном положении относительно детектора. Определить относительную чувствительность к твердотельным источникам в условии равновесия. Для последующих стандартных

испытаний или эксплуатационных испытаний - установить твердотельный источник в заданном положении относительно детектора и применить соответствующий коэффициент к относительной чувствительности к газообразным источникам, определенный во время типового испытания.

Испытания с помощью генератора радиотехнических сигналов. Чтобы избежать применения нескольких источников для проведения стандартных испытаний, необходимо провести испытание только одного измерительного блока, подав соответствующий радиотехнический сигнал на обычный вход детектора.

Линейность. Применяются требования и методы испытания, описанные в МЭК 60761-1. Относительная погрешность показания менее ± 10 % для всего *действительного диапазона измерений.*

Чувствительность мониторов специфических радионуклидов к другим радиоактивным газам. Изготовитель должен указывать чувствительность сборки к радиоактивным газам, отличным от интересующих газов, которая должна быть менее 15 % чувствительности установленного газа.

Время отклика. Изготовитель должен указывать время отклика сборки, которое по договоренности между изготовителем и покупателем должно соответствовать конкретному применению. Время отклика составляет интервал времени между моментом ввода радиоактивного газа (показание R) и моментом, когда показание впервые достигает значения 0,90 (R_f - R) + R_i.

Испытания, проводимые с изменением влияющих величин

Статистические флуктуации. Коэффициент вариации менее 10 %.

Внешнее гамма-излучение от источника ^{137}Cs. Мощность кермы в воздухе 10 мкГр/ч.

3.4. Требования к установкам для контроля изотопов радиоактивного йода в выбросах приведены в стандарте ***МЭК 60761-4 (2002-01) Ред. 2 Приборы радиационной защиты – Оборудование для постоянного контроля радиоактивности в газообразных выбросах – Часть 3: Специальные требования к устройствам, контролирующим содержание йода в газообразных выбросах***

Настоящая часть стандарта МЭК 60761 распространяется на оборудование, предназначенное для одновременного, с задержкой или последующего дискретного измерения радиоактивного йода во всех формах. Данная часть стандарта применима к оборудованию, предназначенному для выполнения следующих функций:

- измерение объемной активности йода и соединений радиоактивного йода в газообразных выбросах или высвобождаемой суммарной активности йода;
- генерация аварийного сигнала в случае превышения заданного уровня концентрации или высвобождаемой суммарной активности йода или его соединений.

В стандарте рассматривается использование среды, улавливающей йод, такой как активированный уголь, а также прямое измерение йода в вытяж-

ных трубах или вентиляционных каналах.

Термины

йод – если не оговорено иное, использование слова «йод» в стандарте относится к радиоактивному йоду во всех формах, в виде химического соединения или нет, включая йод, прикрепившийся к аэрозолю.

Примечание. Йод, прикрепившийся к аэрозолю обычно задерживается на предварительном фильтре, анализ которого должен быть проведен отдельно в лаборатории;

монитор йода – оборудование, предназначенное для постоянного или последующего измерения йода в газообразных выбросах в окружающую среду;

срок службы улавливающей среды – время отбора проб с момента начала работы со средой до момента, когда эффективность улавливания достигнет уровня, составляющего 90 % от номинального значения.

Классификация устройств, контролирующих содержание йода в газообразных выбросах

Оборудование можно классифицировать в соответствии *с видом измеряемого излучения* следующим образом:

- мониторы для измерения только ^{131}I;
- мониторы для измерения ^{125}I и/или ^{129}I;
- мониторы для общего измерения всех изотопов йода.

Оборудование можно также классифицировать в соответствии *с методом измерений*, например:

- оборудование с неподвижной поглощающей средой и одновременным измерением;
- оборудование с подвижной поглощающей средой и одновременным измерением;
- оборудование для прямого измерения йода в вытяжных трубах или вентиляционных каналах.

Среда, улавливающая йод. Характеристики конструкции устройства для удержания йода (размеры, геометрия и т.д.) должны учитывать характеристики реальной улавливающей среды и характеристики воздушного (или газового) пробоотборного насоса. Присутствие радиоактивных газов (например, ^{41}Ar, ^{85}Kr, ^{133}Xe или ^{222}Rn) в контролируемом воздухе может влиять на контроль содержания йода. Конструкция должна быть такова, чтобы утечки воздуха, особенно внутренние утечки, заставляющие поток обходить среду, улавливающую йод, были минимальными. Доступ к устройству для удерживания йода и фильтру должен быть таким, чтобы обеспечивал быстрое и легкое снятия без повреждения детектора излучения или устройства для удержания йода. Срок службы среды должен составлять как минимум восемь дней в условиях нормальной температуры и относительной влажности. Изготовитель должен указывать продолжительность отбора проб при влажности 90 %.

Эффективность улавливания и характер удержания. Изготовитель

должен указывать эффективность улавливания и характер удержания улавливающей среды для элементарных и летучих соединений йода по различным коэффициентам загрузки. Время контакта йода с улавливающей средой должно быть более 0,2 с. Если контакт йода с улавливающей средой составляет менее 0,2 с (например, монитор с высоким расходом отбираемой пробы), необходимо указать пониженную эффективность улавливания.

Контрольный источник. В случае сборок, осуществляющих косвенный контроль, сборка должна быть сконструирована так, чтобы обеспечивала замену источника на среду, улавливающую йод. В случае сборок, осуществляющих прямое измерение, она должна обеспечивать установку источника в фиксированное положение вблизи детектора.

Выражение измерения. Электронный блок измерений должен обеспечивать показание, непосредственно выраженное в единицах объемной активности (Бк/м^3).

Чувствительность к другим ионизирующим излучениям. Оборудование должно быть устроено так, чтобы по возможности ограничивать воздействие ионизирующих излучений, отличных от указанных излучений.

Дискриминация естественной активности. Конструкция оборудования (форма, детектор, обработка) должна быть такова, чтобы помехи, обусловленные естественными радионуклидами, были пренебрежимо малы. Если дело обстоит не так, изготовитель должен указать величину любых таких воздействий.

Стандартные условия испытаний. Если нет иных указаний, испытания должны рассматриваться как типовые испытания, хотя любое из них или все испытания могут рассматриваться как приемосдаточные испытания.

Эталонные источники. Для определения чувствительности к эталонному излучению во время испытаний типа в качестве эталонного источника должен использоваться воздух с известной объемной активностью конкретного изотопа и химической формой йода, для измерения которого предназначено оборудование. Химическая форма может представлять молекулярный йод или органический йод (например, ICH_3 или HIO_3). В качестве эталонов-переносчиков могут использоваться однородные твердотельные источники с известной активностью и теми же физическими свойствами, что и у улавливающей среды. Эталонным источником должен быть источник с интересующим радионуклидом; однако из-за относительно короткой жизни некоторых из них могут использоваться другие радионуклиды (например, ^{133}Ba для ^{131}I и ^{129}I для ^{125}I).

Специальные источники. Источники, используемые для испытаний, связанных с энергетической характеристикой, и источники, используемые для создания интерферирующих излучений, определяются как специальные источники.

Чувствительность к эталонному излучению. Чувствительность к эталонному излучению не должна отличаться более чем на 20 % от значения, указанного изготовителем.

Линейность. Относительная погрешность показания должна быть менее ±10 % для всего действительного диапазона измерений.

Неопределенность активности источников, используемых для испытаний. Условно истинная объемная активность йода в воздухе должна быть известна с неопределенностью менее ± 10 % (k = 2). Условно истинная интенсивность поверхностного испускания или активности всех используемых твердотельных источников должна быть известна с неопределенностью менее ± 10 % (k = 2).

3.5. Требования к установкам для контроля трития в выбросах приведены в стандарте ***МЭК 60761-5 (2002-01) Ред. 2 Приборы радиационной защиты – Оборудование для постоянного контроля радиоактивности в газообразных выбросах – Часть 5: Специальные требования к мониторам трития.***

Настоящая часть стандарта применяется к оборудованию, предназначенному для одновременного, с задержкой или дискретного последовательного измерения трития в любом виде газа в газовых выбросах, отводимых в окружающую среду. Стандарт применим к оборудованию, предназначенному для выполнения следующих функций:

- измерение концентрации трития в газообразных выбросах и его изменения во времени;
- приведение в действие аварийного сигнала, когда объемная активность трития превышает заданный уровень.

Объектом настоящего стандарта является установление конкретных требований, в том числе к техническим характеристикам и общим условиям испытаний, и приведение примеров приемлемых методов мониторирования трития.

Термины

монитор выбросов трития – оборудование, предназначенное для непрерывного контроля трития в газообразных выбросах, отводимых в окружающую среду;

тритий – тритий в газообразных или паровых формах в химически связанном состоянии или нет (если не указано иное).

Классификация мониторов трития в газообразных выбросах. Мониторы могут быть классифицированы по типу измерения:

- селективные мониторы для селективного измерения одного конкретного вида трития (газа, оксида трития или любого соединения трития);
- неселективные мониторы для общего измерения трития во всех его формах.

Улавливающая среда. Если узел детектирования включает в себя улавливающую среду, предназначенную для сбора конкретных химических форм трития, его характеристика, эффективность, мощность хранения и время задержки должны быть известны для различных радиоактивных газов, имею-

щихся в выбросах. Изготовитель должен указать условия хранения поглощающей среды.

Контрольный источник. Любой источник, когда он не используется, не должен увеличивать отклик блока детектирования более чем на 10% от максимального значения низшей значащей декады.

Детектор. Изготовитель должен указать характеристики детектора, включая его размеры и объем камеры.

Выражение измерения. Электронный блок измерений должен обеспечивать показание, выраженное в единицах объемной активности (Бк/м^3).

Стандартные условия испытаний. Если нет иных указаний, испытания должны рассматриваться как типовые испытания, хотя любое из них или все испытания могут рассматриваться как приемосдаточные испытания.

Эталонные источники. Для определения чувствительности к эталонному излучению во время испытаний типа в качестве эталонного источника должен использоваться воздух с известной объемной активностью. Условно истинная активность источников газа должна быть известна с неопределенностью лучше, чем 7 % (к = 2).

Чувствительность к эталонному излучению. Чувствительность к эталонному излучению не должна отличаться более чем на 15 % от значения, указанного изготовителем.

Линейность. Относительная погрешность показания должна быть менее ± 10 % для всего действительного диапазона измерений.

Статистические флуктуации. Коэффициент вариации должен быть менее 10 %.

Отклик на другие химические формы трития. Если оборудование предназначено для измерения активности конкретной химической формы трития, его отклик на другие химические формы трития, влияющие на результаты измерения, должен быть указан изготовителем. Отклик должен быть менее 15% от отклика на химическую форму трития, для которого предназначено оборудование.

Отклик на другие радиоактивные газы. Изготовитель должен указать отклик оборудования назначенным радиоактивным газам кроме трития. Назначенные радиоактивные газы, к которым это требование применяется, должны быть объектом соглашения между изготовителем и покупателем.

Время отклика. Изготовитель должен указать время отклика сборки. Время отклика включает время обновления воздуха в детекторе.

Испытания, проводимые с изменением влияющих величин. Внешнее гамма-излучение от источника ^{137}Cs с мощностью кермы в воздухе 10 мкГр/ч.

4. Сбросы предприятия являются одним из путей попадания радиоактивности в окружающую среду. Технические требования к оборудованию для мониторинга альфа-, бета- или гамма-излучающих радионуклидов в жидких стоках и поверхностных водах определяются в стандарте ***МЭК 60861***

ред. 2, 2006-08 Приборы радиационной защиты – Оборудование для мониторинга радионуклидов в сточных жидкостях и поверхностных водах.

Стандарт распространяется на оборудование для непрерывного мониторинга активности в жидких стоках, которые могут быть выпущены в окружающую среду в процессе нормальной эксплуатации, и в сфере охраны окружающей воды. Стандарт не распространяется на оборудование для использования в аварийных условиях, в которых могут потребоваться дополнительные возможности оборудования. Стандарт ограничен оборудованием для непрерывного мониторинга суммарной альфа- или суммарной бета-активности (с максимальной энергией выше, чем 150 кэВ) или гамма-активности в жидких стоках без пробоотбора образцов и лабораторного анализа. Объектом стандарта является установление общих требований и приемлемых методов для оборудования постоянного мониторинга активности воды.

Стандарт распространяется на водные мониторы, предназначенные для выполнения следующих функций:

- измерение объемной активности или скорости счета, обусловленных радионуклидами в жидкости, и их изменения со временем;
- приведение в действие аварийного сигнала, когда предельное значение объемной активности или скорости счета в воде превышено.

Термины

монитор воды – оборудование, предназначенное для мониторинга радиоактивности в жидких стоках, сбрасываемых в окружающую среду, и в экологических водах;

различные способы мониторинга активности – мониторы с отбором образцов, одновременного измерения, дискретного последовательного измерения, мониторы прямого измерения без отбора проб;

непрерывное измерение – одновременное и дискретно последовательное измерение;

одновременное измерение – измерения пробы, проводимые одновременно с набором пробы.

Примечание. Измерения, проведенные с помощью детектора в контакте с жидкостью (бета-детектор) или внутри него (гамма-детектор), рассматриваются как одновременные измерения;

дискретное последовательное измерение – измерение образца, которое проводится отдельно от сбора образца с короткой задержкой;

прямое измерение – измерение без отбора проб, с помощью детектора, погруженного в жидкий поток или рядом с каналом, где жидкость течет;

сборка пробоотборная – сборка для сбора репрезентативной пробы;

сборка детектирования – устройство, используемое для измерения активности;

измерительный узел – функциональные блоки, предназначенные для измерения величины, связанной с ионизирующим излучением (активность, объемная активность и т.д.);

действительный диапазон измерения – диапазон значений измеряемой величины, в котором характеристика оборудования соответствует требованиям его спецификации;

коэффициент вариации – отношение оценки стандартного отклонения *s* к среднему арифметическому значению совокупности *n* измерений;

относительная собственная погрешность – относительное отклонение индикации по отношению к образцовой величине при стандартных условиях калибровки;

неопределенность измерения – параметр, связанный с результатом измерения, который характеризует дисперсию значений, которые могут быть обоснованно приписаны измеряемой величине;

порог принятия решения – фиксированное значение, при превышении которого в результате измерения решается, что физический эффект присутствует;

время отклика – время, необходимое после изменения измеряемой величины для изменения выходного сигнала до достижения заданного уровня – как правило, до 90% от конечного значения;

объемная активность – отношение значения измеренной в образце активности к общему объему образца;

интенсивность излучения поверхности твердых источников – количество частиц данного типа энергией, выше заданной, выходящих из передней поверхности источника в единицу времени;

условно истинное значение – наилучшая оценка значения величины;

чувствительность - соотношение изменения наблюдаемой переменной и изменения измеряемой величины;

повторяемость (измерительного прибора) – способность измерительного прибора обеспечивать аналогичный отклик той же измеряемой величины при тех же условиях измерения;

воспроизводимость (результатов измерений) – близость соглашения между результатами последовательных измерений одной и той же измеряемой величины, осуществляемой в изменившихся условиях. *Примечание. Измененные условия могут включать принцип измерения, метод измерения, инструмент, расположение эталона, время;*

нелинейность – отклонение от базовой прямой линии, представляющей изменение выходной индикации в зависимости от изменения входного количества.

Классификация

Мониторы могут быть классифицированы по типу детектируемого излучения:

- суммарный бета- и/или гамма-монитор;
- суммарный альфа- и/или бета-монитор;
- суммарный гамма-монитор,

включая каналы определенных радионуклидов.

Мониторы могут быть классифицированы по методу работы:

- одновременное измерение;
- дискретное последовательное измерение;
- прямое измерение.

Действительный диапазон измерения должен включать в себя уровень активности 10^4 Бк/м^3 для контроля природной воды и 2×10^8 Бк/м^3 для контроля жидких стоков.

Образцовый источник. Вода или эквивалентная среда, содержащая соответствующий радионуклид.

Образцовый радионуклид для суммарной активности: альфа – ^{239}Pu или ^{241}Am; бета – ^{36}Cl; гамма - ^{137}Cs.

Образцовый радионуклид для канала радионуклида: интересующий радионуклид.

Образцовый отклик: относительная собственная погрешность должна быть меньше 7%.

Линейность: относительная собственная погрешность должна быть меньше 15% между наименьшим значением, умноженным на коэффициент 2,5, и 75% действительного диапазона измерения.

В других разделах стандарта приведены требования к электрическим, механическим и климатическим характеристикам оборудования.

5. Одним из путей попадания радиоактивных веществ из предприятий, работающих в области использования атомной энергии, в окружающую среду является тело работника, загрязненное радиоактивностью. Технические требования к мониторам загрязненности поверхности тела работника определяются в стандарте ***МЭК 61098 ред. 2, 2003-11 Приборы радиационной защиты – Стационарные установки для контроля поверхностной загрязненности персонала.***

Стандарт распространяется на мониторы, используемые для мониторинга радиоактивного загрязнения поверхности тела работника, и его одежды.

Стандарт распространяется на мониторинг всего тела (включая лицо), руки и ноги, но детали этого стандарта могут быть использованы для оборудования, предназначенного для мониторинга радиоактивных загрязнений только рук и/или ног.

Термины

предупреждающая установка – оборудование, предназначенное для указания световой или звуковой сигнализацией о превышении какой-то величиной установленного значения;

интенсивность излучения поверхности источника – число частиц или фотонов данного типа выше заданной энергии, вылетающих за единицу времени из источника или его окна.

отклик – отношение показаний прибора к измеряемой величине (или его условно истинному значению);

эффективность источника (для альфа- и бета-излучателей) – соотношение между скоростью излучения поверхности и числом частиц того же типа, испущенных из источника за единицу времени.

Примечание 1. В соответствии с этим определением можно было бы ожидать, что эффективность источника должна быть не более 0,5. Однако вклад от обратного рассеяния частиц может повысить это значение значительно.

Примечание 2. Это определение относится к альфа-источникам и бета-источникам (с $E_{макс}$> 150 кэВ);

источник высокой эффективности – источник, в котором эффективность для частиц с энергией больше 0,5 кэВ (включая отраженные частицы) превышает 25%;

небольшой источник – источник высокой эффективности, чей максимальный активный размер не превышает 1 см;

коэффициент вариации – отношение оценки стандартного отклонения *s* к среднему арифметическому значению совокупности *n* измерений;

условно истинное значение – наилучшая оценка значения величины;

погрешность показания – разница между индицируемой скоростью эмиссии и условно истинной скоростью эмиссии в точке измерения;

образцовый фон – искусственный фон, созданный для имитации максимального фона, для работы в котором предназначено оборудование;

равномерность интенсивности эмиссии поверхности источника – однородность интенсивности излучения поверхности по отношению к средней интенсивности излучения поверхности. Для указания однородности источника по отношению к скорости эмиссии поверхности на единицу площади источник должен рассматриваться как состоящий из ряда частей равной площади. Равномерность должна быть указана в качестве расчетного коэффициента вариации измерения отдельных частей около среднего значения для всей поверхности. Площадь участков должна быть 10 $см^2$ или менее. Однородность может быть измерена путем вставки экранирующей пластины между источником и счетчиком. Экранирующая пластина должна иметь отверстие соответствующего размера и толщину, достаточную для поглощения частиц максимальной энергии, излучаемых альфа- и бета-излучателями. Однородность должна быть выражена в процентах (знание однородности позволит использовать меньшие области источника, сохраняя при этом прослеживаемость);

канал мониторинга – система узлов, позволяющих подавать сигналы от одного или нескольких детекторов так, чтобы показать, присутствует или нет загрязнение на определенных частях тела, рук и ног;

порог принятия решения (минимальная регистрируемая активность) – фиксированное значение величины, при превышении которого решается, что физический эффект присутствует.

Примечание. Порог принятия решения является критическим значением статистического теста для выбора между гипотезами о присутствии или отсутствии физического эффекта;

вероятность распада – вероятность испускания интересующей частицы или фотона при распаде.

Классификация установок

Установки можно классифицировать следующим образом:

В зависимости от типа излучения для измерения:

- мониторы альфа-излучения;
- мониторы бета-излучения;
- мониторы гамма-излучения;
- мониторы альфа-бета-излучения;
- мониторы бета-гамма-излучения;
- мониторы альфа-бета-гамма-излучения.

В зависимости от типа контролируемой поверхности:

- мониторы всего тела (включая лицо);
- мониторы рук;
- мониторы ног;
- мониторы обеих рук и ног.

В зависимости от типа вычитания фона:

- мониторы с вычитанием фона;
- мониторы без вычитания фона;
- мониторы, где в дополнение к бета-гамма-детекторам включены гамма-детекторы. Данные мониторы включают вычитание фона;
- мониторы, где в дополнение к бета-гамма-детекторам не включены гамма-детекторы. Данные мониторы не включают вычитание фона.

Конструктивные характеристики

Позиционирование пользователя

Ноги, руки и тело человека при мониторинге должны находиться в требуемом положении. Руки должны быть открытыми, чтобы ладони и обе стороны пальцев должным образом контролировались. Датчики должны подсказывать пользователю правильное положение тела.

Средства мониторинга рук

Конструкция должна быть такой, чтобы обе руки были проверены с обеих сторон одновременно и чтобы обе руки были открыты для мониторинга. Если установка предназначена для мониторинга альфа-загрязнения, по меньшей мере одна сторона руки должна быть в контакте с защитной решеткой детектора. Размер чувствительной области детектора для каждой стороны каждой стороны должно быть не менее 12 см × 20 см. Защитные и другие решетки более чувствительной области детектора не должны заслонять более **40%** от этой чувствительной области. Этот уровень неизвестности должен включать в себя эффект коллимации при расстояниях до 10 мм от наружной поверхности решетки. Общая толщина материала между чувствительным объемом детектора и внешним краем защитной решетки не должна превы-

шать 6 мг·см$^{-2}$ (2 мг·см$^{-2}$ для детекторов, предназначенных для контроля альфа- или бета-загрязнения с низкой энергией). Более толстый материал может быть использован по соглашению между изготовителем и потребителем.

Средства мониторинга ног

Оборудование должно контролировать каждую ногу (подошву) отдельно. В случае наличия единственного детектора он должен измерять дважды каждую ногу. Чувствительная область детектора для каждой ноги должна быть не менее 15 см × 30 см. Защитные и другие решетки чувствительной области каждого детектора не должны заслонять более чем 60% от этой чувствительной области. Этот уровень неизвестности должен включать в себя эффект коллимации при расстояниях до 10 мм от наружной поверхности решетки. Общая толщина материала между чувствительным объемом детектора и защитной решеткой не должна превышать 6 мг·см$^{-2}$ (2 мг·см$^{-2}$ для детекторов, предназначенных для контроля альфа- или бета-загрязнения с низкой энергией). Материал, заключенный между подошвой и детектором для сбора грязи с ног, должен легко удаляться. Кроме того, должна быть предусмотрена возможность мытья чувствительных областей детекторов.

Средства мониторинга тела

Детекторы должны быть расположены таким образом, чтобы контролировалась вся поверхность тела, включая голову и внешнюю поверхность одежды. Детекторы должны быть собраны в один или более наборов - таких, что отклик был бы одинаков для всех детекторов в этом наборе, если иное не согласовано между изготовителем и пользователем. Максимальная высота лица, для мониторинга которого оборудование предназначено, указывается изготовителем.

Визуальное отображение для пользователя

Прибор должен показывать, как минимум, следующую информацию:

а) инструкцию для пользователя о местах, где звуковые инструкции будут недоступны;

б) указание всех мест на теле, где загрязнение достаточно велико для срабатывания тревоги.

Для узлов, способных контролировать два или более типов загрязнений, дисплей должен различать тип загрязнения.

В конце цикла измерения должна быть индикация о том, что:

а) нет сигналов тревоги;

б) оборудование находится в рабочем состоянии;

в) оборудование неисправно;

г) измерение продолжается;

д) тело, руки или ноги находятся в правильном положении.

Визуальное отображение для проведения технического обслуживания

Эти сведения не обязательно могут быть видны пользователю:

а) возможность отображения скорости счета от любого измерительного канала;

б) скорость потока подачи газа;

в) сигнал уставки для каждого канала;

г) установки сигнализации низкого уровня;

д) время измерения;

е) наличие высокого фона, не позволяющего проводить корректные измерения.

Звуковые индикаторы

Звуковые индикаторы должны быть четко отличимы друг от друга. Должен быть звуковой сигнал в конце цикла мониторинга, если загрязнение выше уставки, то должен вырабатываться аварийный сигнал.

Образцовые источники: ^{137}Cs для гамма-измерения (^{129}I для гамма-излучения низких энергий), ^{36}Cl или ^{204}Tl для бета-измерений и ^{241}Am или ^{239}Pu для альфа-измерений. Для мониторинга рук используются источники с активной областью 15 см × 10 см - только для испытаний однородности откликов детектора. Для мониторинга ног должны быть использованы источники с активной областью 30 см × 10 см или 15 см × 10 см (за исключением случаев испытаний однородности откликов детектора).

Распределения интенсивности излучения поверхности двух образцовых источников должны быть равномерным, так что скорость эмиссии поверхности на единицу площади для каждых 10 $см^2$ не должна отличаться от средней скорости излучения поверхности на единицу площади для общей площади более чем на 6% при доверительной границе 1 σ (см. ISO 8769). Если указанные выше источники недоступны, испытания должны проводиться с использованием небольших источников. В этом случае измеренное значение должно быть средним из множества показаний с источником, перемещаемым над эквивалентной площадью.

Изменение отклика от положения источника

Требования для измерений одежды или тела. Если оборудование предназначено для измерения альфа-загрязненности тела, детектор должен работать так, чтобы фон составлял менее 0,2 отсчетов в секунду, в противном случае должно быть введено вычитание фона.

Бета-системы мониторинга

Влияние вертикального положения источника излучения. Небольшой бета-источник ^{36}Cl должен быть перемещен по вертикали на расстоянии 5 см от детектора. Каждый шаг должен быть 2 см или меньше, и реакция оборудования должна быть измерена на каждом этапе. Для первого измерения источник должен находиться ниже точки 5 см над поверхностью подошв ноги, и последнее измерение – на 2 см выше высоты самого высокого человека, для которого оборудование разработано.

Вокруг тела. Для этого испытания требуется цилиндрический фантом высотой 95 см с сечением в виде эллипса с главной осью 35 см. Так как эти тесты должны проводиться с бета-источниками, фантом должен быть полым со стенкой с эквивалентной толщиной, по меньшей мере, 0,5 $г \cdot см^{-2}$. Центральная ось этого фантома должна быть размещена там, где будет центр пользователя в период мониторинга. Небольшой источник ^{36}Cl перемещается

по поверхности фантома каждый раз на 10° в различных горизонтальных плоскостях вокруг фантома. Характеристика каждого измерительного канала должна быть нанесена на одном графике от максимума к минимуму. *Примечание. Это испытание не определяет характеристику оборудования в некоторых областях тела, например, в части, защищенной от детектора другими частями тела.*

Гамма-установка мониторинга

Влияние вертикального положения источника излучения. Испытание должно быть выполнено так же, как для бета-измерения, за исключением того, что используется источник ^{137}Cs (^{129}I для низкой энергии) и шаги могут быть 5 см.

Вокруг тела. Испытание проводится так же, как и для бета-излучения, за исключением того, что источник, где это возможно, должен быть расположен на расстоянии от фантома высотой по меньшей мере 25 см и плотностью около 1 г·см$^{-3}$. Должен использоваться источник ^{137}Cs (^{129}I для низкой энергии) и шаги могут быть 20°.

Для контроля загрязненности поверхности рук проводится измерение отклонения отклика от среднего значения при изменении положения источника ^{137}Cs, экранированного защитным слоем толщиной более 0,6 мм алюминия (или источника ^{129}I для мониторов низких энергий) для проведения гамма-мониторинга, источника ^{36}Cl – для бета-мониторинга и ^{241}Am – для альфа-мониторинга. Это отклонение не должно быть более чем двукратным.

Для мониторинга загрязненности ног проводится измерение отклонения отклика от среднего значения при изменении положения источника ^{137}Cs, экранированного защитным слоем толщиной более 0,6 мм алюминия (или ^{129}I для мониторов низких энергий) в случае проведения гамма-мониторинга, ^{36}Cl – для бета-мониторинга и ^{241}Am – для альфа мониторинга. Это отклонение не должно быть более чем двукратным.

Изменение отклика с энергией

Бета-измерительное оборудование должно быть способно обнаруживать бета-излучатели с E_{max} больше 150 кэВ. Измерения характеристик должны проводиться, по крайней мере, для трех бета-излучателей: один с максимальной энергией меньше 0,2 МэВ, один с энергией между 0,2 МэВ и 0,5 МэВ, один – с энергией более 0,5 МэВ.

Гамма-измерительное оборудование должно быть способно обнаруживать гамма- и рентгеновские излучатели с энергией больше 50 кэВ (5 кэВ для мониторов низких энергий), и измерения должны быть сделаны для трех гамма-излучателей для оборудования, предназначенного для измерения высоких энергий излучателей, и двух для оборудования, предназначенного для измерения низких энергий:

- между 5 кэВ и 20 кэВ (для мониторов низких энергий);
- между 50 кэВ и 150 кэВ (для мониторов низких и высоких энергий);
- между 150 кэВ и 500 кэВ (для мониторов высоких энергий);

- выше 500 кэВ (для мониторов высоких энергий).

Линейность показаний. Изготовитель должен проводить испытания, чтобы убедиться в линейности отклика, лучшем, чем 20% в диапазоне, указанном изготовителем.

В других разделах стандарта приведены требования к электрическим, электромагнитным, механическим и климатическим характеристикам.

6. К средствам КРО относятся переносные приборы для контроля радиоактивности в окружающей среде, дозиметры и радиометры гамма-, бета-, рентгеновского и нейтронного излучений.

Общие термины стандартов для дозиметров гамма-, бета-, рентгеновского и нейтронного излучений

действительный диапазон измерений – диапазон значений измеряемой величины, в котором рабочие характеристики измерителя удовлетворяют требованиям настоящего стандарта;

отклик – отношение индицируемой измерителем величины к условно истинной величине;

относительный отклик – отношение индицируемой измерителем величины к условно истинной величине, выражаемое в процентах;

относительная погрешность показаний – отношение погрешности индикации измеряемой величины к условно истинной величине, выражаемое в процентах;

относительная собственная погрешность – относительная погрешность показаний устройства от образцового излучения в образцовых условиях;

коэффициент вариации (для оценки статистической флуктуации) – отношение оценки стандартного отклонения *s* к среднему арифметическому значению совокупности *n* измерений;

время отклика – время между первичным облучением детектора и достижением показаний 90% конечного значения мощности дозы монитора;

условно истинная величина – наилучшая оценка значения величины.

6.1. Технические требования к дозиметрам гамма-, бета-, рентгеновского излучений определяются в стандарте **МЭК 60846-1, 2009-04, Приборы радиационной защиты – Измерители и/или мониторы (мощности) амбиентного и/или направленного эквивалента дозы бета, рентгеновского и гамма-излучения – Часть 1: Портативные приборы для контроля рабочих мест и окружающей среды.**

Общие характеристики измерителей (мощности) амбиентного и направленного эквивалента дозы

Диапазон мощности эквивалента дозы. Для выполнения рекомендаций МКРЕ требуется определить мощность эквивалента дозы по широкому диапазону значений. В некоторых случаях требуется измерить такую высокую мощность эквивалента дозы, как 10 Зв/ч. В других предельных случаях можно получить такие низкие мощности эквивалента дозы, как 0,1 мкЗв/ч. В большинстве случаев интересующие мощности эквивалента дозы находятся в пределах диапазона приблизительно от 1 мкЗв/ч до 10 мЗв/ч.

Минимальный действительный диапазон измерений мощности эквивалента дозы должен охватывать, как минимум, три порядка величины и включать в себя 10 мкЗв/ч для измеряемой величины H*(10) и 0,1 мЗв/ч для измеряемой величины H'(0,07).

Изменение чувствительности, обусловленное энергией и углом падения излучения:

требования для дозы (мощности) H' (0,07). Относительная чувствительность, обусловленная энергией от 10 кэВ до 250 кэВ и углом падения фотонного излучения от 0° до 45°, должна находиться в интервале от 0,71 до 1,67. Для углов падения излучения до ± 90° изготовитель должен указывать относительную чувствительность для всех энергий излучения;

требования для дозы (мощности) H (10).* Относительная чувствительность, обусловленная энергией от 20 кэВ до 150 кэВ или от 80 кэВ до 1,5 МэВ и углом падения фотонного излучения от 0° до 45°, должна находиться в интервале от 0,71 до 1,67. Для углов падения излучения до ± 90° изготовитель должен указывать относительную чувствительность для всех энергий излучения;

требования для дозы (мощности) H' (0,07). Относительная чувствительность, обусловленная средними энергиями от 0,2 МэВ до 0,8 МэВ и углом падения бета излучения от 0° до 45°, должна находиться в интервале от 0,71 до 1,67. Для углов падения излучения до ± 60° изготовитель должен указывать относительную чувствительность для всех энергий излучения;

изменение относительной чувствительности к (мощности) дозе, обусловленное нелинейностью в стандартных условиях испытаний, не должно превышать диапазон от минус 15 % до + 22 % по всему действительному диапазону измерений для выбранного эталонного рентгеновского, гамма-излучения или бета-излучения;

коэффициент вариации по (мощности) дозы должен быть в пределах:

для $H = H_o$: 15%;

для $H_o < H < 11H_o$: $(16 - H/H_o)$%;

для $H > 11H_o$: 5%,

где H_o – нижняя граница диапазона измерения (мощности) дозы;

время отклика. При воздействии на измеритель мощности эквивалента дозы ступенчатого или медленного приращения или понижения менее чем через 10 с после воздействия конечной мощности эквивалента дозы показание измерителя должно достичь: $G_i+0,9(G_f-G_i)$, где G_i – начальное показание и G_f – конечное показание. Период времени 10 с применяется для значений G_f, составляющих более 1 мкЗв/ч, но менее чем 10 мЗв/ч. Для G_f выше этого

значения время должно составлять 2 с или менее. Кроме того, через 60 с показание должно достигать $(1\pm0,1)G_f$ для всех значений G_f;

отклик к импульсным полям. Испытания на чувствительность измерителя (мощности) эквивалента дозы к полям импульсного излучения не являются обязательными

В разделах 9-14 стандарта предъявляются требования к электрическим, механическим характеристикам дозиметров, характеристикам окружающей среды, перечню документации. Приложение А посвящено анализу статистических флуктуаций, а Приложение С относится к калибровке измерителей.

Приложение В стандарта.

Категории использования, приведенные в таблице, могут быть использованы для классификации измерителей амбиентной/направленной дозы (мощности) для целей официального утверждения:

Основная категория	Символ	Минимально требуемый диапазон использования	Дополнительные расширения			
			для диапазона энергии	для диапазона углов	для диапазона мощности дозы	для диапазона дозы
H*(10) гамма	G	энергия: 80 кэВ – 1,5 МэВ угол: -45° - +45° мощность дозы: 3 порядка величины, включая 10 мкЗв/ч доза (если это предусмотрено): 3 порядка величины, включая 0,1 мЗв	m (mid): нижняя грца 60 кэВ l (low): нижняя грца 20 кэВ h (high): вкл. 6 МэВ	w (wide): -90° - +90°	a (аварийный): верхняя грца 10 Зв/ч	a (аварийный): верхняя гр-ца 2 Зв f: нижняя гр-ца 10 мкЗв
H*(10) рент.	X	энергия: 20 кэВ – 150 кэВ угол: -45° - +45° мощность дозы: 3 порядка величины, включая 10 мкЗв/ч доза (если это предусмотрено): 3 порядка величины, включая 0,1 мЗв	l (low): нижняя грца 10 кэВ h (high): вкл. 300 кэВ	w (wide): -90° - +90°	a (аварийный): верхняя грца 10 Зв/ч	a (аварийный): верхняя гр-ца 2 Зв f: нижняя гр-ца 10 мкЗв
H'(0,07) рент., гамма	S (кожа)	энергия: 20 кэВ – 150 кэВ мощность дозы: 3 порядка величины, включая 10 мкЗв/ч доза (если это	h (high): вкл. 300 кэВ u: (ultra): вкл. 1,3 МэВ		a (аварийный): верхняя грца 10 Зв/ч	a (аварийный): верхняя гр-ца 2 Зв f: нижняя гр-ца 10

Основная категория	Символ	Минимально требуемый диапазон использования	Дополнительные расширения			
			для диапазона энергии	для диапазона углов	для диапазона мощности дозы	для диапазона дозы
		предусмотрено): 3 порядка величины, включая 0,1 мЗв				мкЗв
H'(0,07) бета	B	средняя энергия (Ecp): 200 кэВ – 800 кэВ мощность дозы: 3 порядка величины, включая 0,1 мЗв/ч доза (если это предусмотрено): 3 порядка величины, включая 0,1 мЗв	l (low): нижняя гр-ца 60 кэВ (Ecp)		a (аварийный): верхняя гр-ца 10 Зв/ч	a (аварийный): верхняя гр-ца 2 Зв f: нижняя гр-ца 10 мкЗв
Например, гамма дозиметр для атомной станции для измерений в аварийных условиях может быть классифицирован как Gha						

6.2. Технические требования к дозиметрам нейтронного излучения определяются в стандарте ***МЭК 61005, ред. 3, 2014-07, Приборы радиационной защиты – Измерители амбиентного эквивалента дозы (мощности) нейтронов.***

Термины

испытания: эталонное излучение: ^{241}Am/Be, ^{252}Cf, ^{252}Cf (D_2O), или D(d,n) ^{3}He, T(d,n) ^{4}He, T(p,n) и ^{7}Li (p,n) нейтронные генераторы.

Требования

Неопределенность условно истинного значения дозы (мощности) должна быть меньше, чем ± 20%.

Минимальный действительный диапазон измерения мощности эквивалента дозы H*(10) должен покрывать, по крайней мере, четыре порядка величины и включать 10 мкЗв/ч.

Относительный отклик должен быть в диапазоне от минус 17 % до +25 % в минимальном диапазоне измерений мощности дозы: 5 мкЗв/ч – 1 Зв/ч.

Относительный отклик должен быть в диапазоне:

0,2 - 8,0 для энергий нейтронов от тепловых до 50 кэВ;

0,5 - 2,0 для энергии от 50 кэВ до 10 МэВ;

0,2 - 2,0 для энергий выше 10 МэВ (рекомендуется).

Относительный отклик должен быть не хуже ±25% для углов падения излучения от 0 до 90°; для углов падения от ±90 до ±180 ° должен заявляться производителем.

Время отклика до достижения показаний 90% от нового значения при резком изменении мощности дозы:

- менее 30 с для мощности H*(10) менее 0,1 мЗв/ч;

- 10 с для мощности H*(10) между 0,1 мЗв/ч и 1,0 мЗв/ч;
- 4 с для мощности H*(10) более 1,0 мЗв/ч.

В других разделах стандарта приведены требования к электрическим, электромагнитным, механическим характеристикам и характеристикам окружающей среды, перечню документации. В Приложении А приведены конверсионные коэффициенты из доклада 57 МКРЕ.

6.3. Технические требования к радиометрам альфа-, бета-излучений определяются в стандарте **МЭК 60325, 2002-06, Приборы радиационной защиты альфа-, бета- и альфа- / бета- (бета-энергии> 60 кэВ) измерители загрязнения и мониторы.**

Если оборудование было предназначено для выполнения комбинированных функций (измерение альфа- и/или бета-загрязненности), оно должно соответствовать требованиям, относящимся к этим различным функциям. Этот стандарт не распространяется на радиометры, предназначенные для измерения бета-частиц с E_{max} <60 кэВ.

Термины

альфа-, бета- или альфа / бета-монитор поверхностного загрязнения – соответственно альфа- (бета-, альфа- / бета-) измеритель активности, снабженный средством сигнализации (как правило, визуальная и/или звуковая), который указывает, что поверхностная эмиссия через единицу площади превышает некоторое заранее заданное значение;

интенсивность излучения с поверхности источника – количество частиц определенного типа и с энергией выше определенного значения, вылетающих с лицевой поверхности источника в единицу времени;

эффективность источника – отношение количества частиц определенного типа и с энергией выше определенного значения, вылетающих с лицевой поверхность источника или из окна источника в единицу времени (интенсивность излучения с поверхности), к количеству частиц того же типа, образующихся или высвобождаемых в единицу времени в источнике (для тонкого источника) или в его слое насыщения (для толстого источника);

источник с высокой эффективностью – источник, у которого эффективность для частиц с энергией более 5,9 кэВ превышает 0,25, включая частицы, испытавшие обратное рассеяние (определение относится к бета-излучателям с максимальной энергией спектра >150 кэВ);

источник малой площади – источник, у которого максимальный линейный размер активной площади поверхности не превышает 1 см;

отклик на интенсивность излучения с поверхности (эффективность прибора) – при указанных производителем условиях (чувствительная площадь детектора, активная площадь источника, расстояние между источником и детектором) отклик на интенсивность излучения с поверхности (эффективность) детектора представляет собой отношение количества зарегистрированных частиц (например, количества импульсов в единицу времени с поправкой на естественный фон) к количеству частиц того же типа, испущен-

ных источником излучения в течение того же интервала времени (принятое значение величины «интенсивность излучения с поверхности»).

Общие характеристики

Индикация в единицах активности. На практике отношение скорости поверхностной эмиссии (выхода) к активности не всегда равно 0,5 из-за обратного рассеяния или, что более вероятно, влияния самопоглощения, которое различно у образцового источника и измеряемого образца при оценке индикации в единицах активности. Хорошей практикой является использование образцового источника с поверхностью, аналогичной поверхности образца (имеющей подобные обратное рассеяние и самопоглощение).

Показания прибора должны быть выражены в единицах счета за единицу времени, или там, где индикация может быть в единицах активности или активности на единицу площади.

Испытания

Эталонные радионуклиды

Альфа-излучатели – образцовый радионуклид ^{241}Am или ^{239}Pu.

Бета-излучатели – образцовый радионуклид ^{36}Cl или ^{204}Tl. При измерениях бета-частиц с энергией меньшей, чем 200 кэВ, должен использоваться ^{14}C.

Электрические характеристики

статистические флуктуации. Из-за случайной природы эмиссии альфа- и бета-частиц показания измерителя загрязнения колеблются около среднего значения. Коэффициент вариации показаний в связи с этими случайными колебаниями должен быть меньше чем 0,2.

Время отклика должно быть таким, чтобы в случае резкого изменения загрязнения показатель достиг следующего значения меньше чем за 7 с при увеличении и 10 с – при уменьшении загрязнения.

Метод испытания – для цифровых приборов начальные и конечные скорости счета при испытаниях должны различаться в 10 раз и более. Нижняя скорость счета не должна превышать одну треть от младшей декады.

Взаимосвязь между временем отклика и статистическими флуктуациями. Время отклика и коэффициент вариации являются взаимозависимыми характеристиками. Для высоких уровней загрязнения рекомендуется, по возможности, уменьшить время отклика, в то время как статистические флуктуации должны быть в установленных пределах. Если эти пределы могут быть выполнены со временем отклика не более 1 с, предпочтительно уменьшение статистических флуктуаций, а не уменьшение времени отклика меньше 1 с.

Радиационные характеристики

Вариации отклика на поверхности детектора - проверка равномерности поверхности детектора. Изготовитель должен указать вариации отклика детектора при изменении положения источника относительно окна детектора.

Расстояние между источником и окном детектора должно быть указано изготовителем и в идеале должно быть от 3 мм и 4 мм, также должно быть указано ослабление излучения при его прохождении через защитную решетку.

Относительная собственная погрешность. В стандартных условиях испытаний относительная собственная погрешность устройства к соответствующему образцовому радионуклиду не должна превышать ± 25% по всему действительному диапазону измерения для измерителей и мониторов и ±10% – для измерительных сборок.

Измерители альфа-загрязнения. Нет необходимости в спецификации. Производитель по просьбе покупателя должен указать реакцию детектора на природный уран.

Измерители бета-загрязнения. Эффективность прибора должна быть измерена при трех различных максимальных энергиях:

- не более 0,2 МэВ;
- между 0,2 МэВ и 0,5 МэВ;
- больше чем 0,5 МэВ. Подходящими радионуклидами являются: ^{14}C, ^{147}Pm, ^{60}Co, ^{36}Cl, ^{204}Tl, $^{90}Sr/^{90}Y$.

Отклик на другие излучения. Рекомендуется обеспечить бета-детектор каким-либо затвором из материала с низким атомным номером (менее 22), чтобы можно было отделить бета- от гамма-излучения. Толщина затвора должна быть выражена в единице эквивалентной массы на единицу площади.

Фоновая скорость счета. Изготовитель должен указать скорость счета при мощности кермы в воздухе 0,2 мкГр/ч.

В других разделах стандарта приведены требования к электрическим, механическим характеристикам приборов, характеристикам окружающей среды, перечню документации.

Приложение 4 (справочное). Технические, метрологические и эксплуатационные требования к средствам контроля радиационной обстановки в аварийных условиях

1. Системы аварийной сигнализации о возникновении самоподдерживающейся цепной реакции (САС СЦР) должны быть обеспечены повсюду, где предполагается, что их использование приведет к снижению общего риска в условиях, указанных в п. 6.8 данных МУ. Требования к САС СЦР приведены в следующих документах:

ПБЯ-06-10-99 Отраслевые правила проектирования и эксплуатации систем аварийной сигнализации о возникновении самоподдерживающейся цепной реакции и организации мероприятий по ограничению ее последствий (ПБЯ)

IEC 60860 ed. 2.0 2014-06, Radiation protection instrumentation - Warning equipment for criticality accidents (МЭК)

ISO 7753-1987 Nuclear Energy – Performance and testing requirements for criticality detection and alarm systems (ИСО)

ANSI/ANS-8.3-1997 Criticality Accident Alarm System, Approved 2003-06-12 (АНСИ)

Термины будут даны по ПБЯ и стандарту МЭК. Требования к техническим характеристикам САС СЦР будут даны по ПБЯ с указанием отличий в других документах, когда они есть.

Термины ПБЯ

самоподдерживающаяся цепная реакция деления (СЦР) – процесс деления нуклидов с испусканием ионизирующих излучений и выделением энергии, при котором число нейтронов, образующихся в процессе деления ядер за какой-либо интервал времени, равно или больше числа нейтронов, убывающих из системы вследствие утечки и поглощения за этот же интервал времени;

ядерноопасный делящийся материал (ЯОДМ) – материал, при работе с которым не исключена возможность возникновения СЦР;

ядерноопасная зона (ЯОЗ) – часть производственной территории, в пределах которой при возникновении первого пика СЦР с числом делений 10^{18} поглощенная доза от мгновенного нейтронного и фотонного излучения составляет не менее 0,1 Гр (10 рад). Радиус ЯОЗ - не менее 50 м вокруг места возникновения СЦР в отсутствие поглощения излучений;

полная радиационная защита от последствий СЦР – условно принятая полной при обеспечении ядерной безопасности; гарантирует ослабление поглощенной дозы при возникновении СЦР с числом делений 10^{18} до значения менее 10 рад, а также предотвращает поступление радиоактивных газоаэрозолей в обслуживаемые персоналом помещения до уровней, соответствующих получению дозы не более 1 рад в течение 1 часа после возникновения СЦР.

Термины МЭК

3.1.2 ***сигнализация*** – способ уведомления о критической ситуации;

3.1.5 ***критическая ситуация*** - выделение энергии в окружающую среду вследствие случайно произошедшей самоподдерживающейся или нарастающей нейтронной цепной реакции;

3.1.6 ***система сигнализации о критической ситуации*** – все части сборки, узы, функциональные блоки и компоненты, которые вместе составляют работоспособную систему, в том числе все цепи, сигнализации, связи, кабели, датчики и вспомогательные узлы. *Система сигнализации о критической ситуации* содержит, по меньшей мере, следующие узлы:

- *блок детектирования*, в том числе соответствующую электронику;
- блок предупреждения, включая логическое устройство и устройство сигнализации;

3.1.7 ***ложная аварийная сигнализация*** – включение аварийной сигнализации в отсутствии критической ситуации.

Определения функции САС

ПБЯ: 1.4. САС – это совокупность технических средств, размещенных на производственных площадях, предназначенная для выполнения двух главных функций:

- обнаружение СЦР на ядерноопасных участках;
- выдача аварийных сигналов о необходимости эвакуации работников из ядерноопасной зоны.

МЭК: 4.1. Основные функции системы сигнализации о критической ситуации заключаются в следующем:

- обнаружение аварии по критичности, как только она происходит в зоне контроля детектора(ов);
- приведение в действие сигнализации с минимальной задержкой;
- обеспечение высокой степени надежности, которая требуется в соответствии с классификацией безопасности оборудования, и низкой вероятности ложной тревоги;
- безаварийность конструкции и возможность выявления сбоев – единичный отказ должен быть указан, но при нем не должны происходить отключение системы и потеря результата обнаружения аварии по критичности;
- защищенность от несанкционированного изменения.

Дополнительные функции САС

ПБЯ: 1.5. Правила не требуют от САС других функций, кроме двух главных, указанных в п.1.4. Допускается использовать технические средства САС…например, постоянного контроля мощности дозы гамма-излучения …Расширение функций САС … не должно ухудшать надежность выполнения системой двух главных функций...

МЭК: 4.1. Общие характеристики…Дополнительные функции системы сигнализации о возникновении критической ситуации должны устанавли-

ваться по согласованию между производителем и пользователем. В состав рекомендуемых дополнительных функций должна входить возможность измерения уровня излучения во время аварии с возникновением критической ситуации и после ее завершения. Должна быть предусмотрена возможность протестировать отклик и характеристики системы аварийной сигнализации, не вызывая эвакуацию персонала.

ИСО, АНСИ: нет требований.

Требования по установке САС

ПБЯ: 1.7. Не требуется устанавливать САС:

1.7.1…если суммарная масса ^{235}U, ^{233}U и изотопов плутония…не превышает 300 граммов на любой момент времени.

МЭК: нет требований.

ИСО: 3.2.1 Потребность в системах… должна оцениваться для всех видов деятельности... (*при осуществлении которой масса используемых изотопов*) … превышает 700 г ^{235}U, 520 г ^{233}U, 450 г делящихся изотопов плутония или 450 г любого соединения этих изотопов.

АНСИ: 4.2.1. Потребность в системах… должна оцениваться для всех видов деятельности... ...(*при осуществлении которой масса используемых изотопов*) … превышает 700 г ^{235}U, 520 г ^{233}U, 450 г делящихся изотопов плутония или 450 г любого соединения этих изотопов.

Эталонное излучение

ПБЯ: 3.1. Разработчик технических средств САС должен провести испытания образцов…включая испытания образцов на импульсных реакторах…

МЭК: 5.4. Эталонное излучение. Эталонное излучение должно создаваться источниками ^{60}Co и ^{252}Cf, если производитель и пользователь не согласовали использование других источников (например, ^{137}Cs). ^{60}Co является более предпочтительным как гамма-источник, чем ^{137}Cs, так как его энергия ближе к энергии гамма-излучения во время критической ситуации.

ИСО, АНСИ: нет требований.

Энергетическая зависимость к гамма-излучению

ПБЯ: нет требований.

МЭК: 6.2. Энергетическая зависимость чувствительности детекторов должна быть такой, чтобы система могла реагировать на любое рассматриваемое событие с помощью детектирования излучения заданного типа. *6.2.1. Детекторы гамма-излучения 6.2.1.1. Требования.* Измеренное значение дозы в интервале энергий от 0,1 МэВ до 3 МэВ должно находиться в интервале (–35 %, +50 %) относительно условно истинной дозы.

ИСО, АНСИ: нет требований.

Энергетическая зависимость к нейтронам

ПБЯ: нет требований.

МЭК: *6.3.2. Нейтронные детекторы 6.2.3.1. Требования.* Так как в системах сигнализации о возникновении критичности могут использоваться различные типы детекторов, обладающие различными энергетическими характеристиками, то можно дать только общие рекомендации по их использованию. Отклик всех детекторов нейтронов должен определяться с использованием эталонного излучения (нейтроны деления ^{252}Cf или другой подходящий источник).

ИСО, АНСИ: нет требований.

Угловая зависимость

ПБЯ: 2.2.10. Угловая зависимость эффективности блоков детектирования …должна быть не более 25% и приведена в документации…

МЭК: 6.5. Зависимость отклика от угла падения 6.5.1. Требования. Должна быть определена зависимость отклика от угла падения излучения. 6.5.2. Метод испытаний. Результаты должны быть представлены в виде полярной диаграммы.

ИСО, АНСИ: нет требований.

Перегрузочные характеристики

ПБЯ: 2.2.8. Блоки детектирования и другие элементы…должны … сохранять работоспособность после воздействия дозы смешанного нейтронного и гамма-излучения от СЦР не менее 100 Гр.

МЭК: 6.6. Характеристики при перегрузке 6.6.1 Требования … Блок детектирования должен быть испытан при значении мощности дозы не менее 1 кГр·ч$^{-1}$ в течение, как минимум, 1 мин.

ИСО: 3.5 Надежность 3.5.4. Детекторы должны безотказно запускать аварийную сигнализацию при воздействии на них мощного излучения, превышающего 1000 Гр/ч.

АНСИ: нет требований.

Ложные сигнализации

ПБЯ: *2.5.1*…Количество ложных срабатываний на систему, связанных с отказами элементов САС, не должно превышать двух в год. *2.5.2.* Предприятия, эксплуатирующие САС, должны регистрировать каждый случай ложного срабатывания с указанием его причин. Предприятие в ежегодном отчете по безопасности, направляемом в ДБЧС Минатома России, должно сообщать о случаях ложных срабатываний САС.

МЭК: 4.4. В ходе проектирования системы сигнализации о возникновении критичности особое внимание должно быть уделено минимизации вероятности ложных срабатываний.

ИСО: 3.1 Общие положения. Системы аварийной сигнализации должны быть обеспечены повсюду, где предполагается, что их использование приведет к снижению общего риска. Необходимо провести анализ рисков, являющихся результатом сигналов ложной тревоги.

АНСИ: 4.1.3 Целью системы аварийной сигнализации является снижение риска для персонала. При оценке общего риска необходимо признать, что опасность может быть вызвана ложными аварийными сигналами и последующим внезапным прерыванием работ и перемещением персонала.

Снижение частоты ложных сигнализаций

ПБЯ: 2.5.9. Для снижения частоты ложных срабатываний САС допускается применение схем совпадений аварийных сигналов с двух любых блоков детектирования из трех.

МЭК: 4.4. Ложные сигнализации. Одним из методов, используемых для минимизации ложных сигнализаций, является использование систем с избыточностью, когда требуется реакция, по меньшей мере, двух детекторов из трех.

ИСО: 3.5.1. Во избежание появления сигналов ложной тревоги можно обеспечить отдельные надежные детекторные каналы или установить требование, чтобы сигнал тревоги запускался одновременным срабатыванием двух или нескольких детекторных каналов.

АНСИ: 4.4.1. Во избежание появления сигналов ложной тревоги можно предусмотреть отдельные надежные детекторные каналы или установить требование, чтобы сигнал тревоги запускался одновременным срабатыванием двух или нескольких детекторов.

Время отклика

ПБЯ: 2.4. Устройства звуковой и световой сигнализации 2.4.2. Интервал времени от момента срабатывания блока (блоков) детектирования до момента достижения номинального уровня звучаний аварийной сигнализации не должен быть более 0,5 с.

МЭК: 6.3. Время реакции 6.3.1. Требования. Система должна выдавать сигнал о критичности в пределах 0,3 с после обнаружения соответствующего события.

ИСО: 3.4 Аварийная сигнализация 3.4.3. Сигнал об эвакуации должен зазвучать сразу же после регистрации аварии.

АНСИ: 5.5 Время отклика. Конструкция системы должна обеспечивать генерацию аварийного сигнала о возникновении критического состояния за полсекунды с момента регистрации детектором критического состояния.

Минимальная длительность СЦР

ПБЯ: 2.2.1 … При разработке технических средств САС необходимо принять минимальную продолжительность СЦР, равную 10^{-3} с (*1 мс*).

МЭК: 4.2. Критерий обнаружения…При разработке детекторов излучения можно предположить, что минимальная продолжительность всплеска излучения составляет 1 мс.

ИСО: 4.3. Чувствительность измерительного прибора. Можно предположить, что минимальная продолжительность переходных изменений излучения составляет 1 мс.

АНСИ: 5.7. Чувствительность 5.7.1…Можно предположить, что минимальная продолжительность переходных изменений излучения составляет 1 мс.

Уровень сигнализации

ПБЯ: 2.4.3. Уровень звучания должен быть не менее 90 дБ на расстоянии в 1 м от генератора звука.

МЭК: 4.14.1. Сигнализация. Уровень звука должен составлять 90-115 дБ на расстоянии 1 м от сигнального устройства. Звуковая и визуальная сигнализация должны быть непрерывными, пока они не отключены вручную.

ИСО: 4.6.2. Испытания каждого генератора звуковых сигналов должны проводиться, как минимум, один раз в три месяца. Слышимость сигнала поверх фонового шума на всех участках, с которых необходимо эвакуировать людей, должна устанавливаться наблюдениями на местности.

АНСИ: 4.3.6 Генераторы звуковых сигналов тревоги должны генерировать сигналы, результирующий уровень звукового давления которых составляет, как минимум, 75 дБ, но не менее 10 дБ выше максимального уровня шума окружающей среды,… характерного для каждой зоны, подлежащей охвату звуковой сигнализацией. 4.3.7. …необходимо, чтобы уровень шума по шкале А, создаваемый генераторами звуковых сигналов тревоги около уха человека, не превышал 115 дБ.

Критерий регистрации по нейтронам

ПБЯ: 2.2.4. Если система основана на регистрации мощности дозы нейтронного излучения, то порог срабатывания не должен превосходить $1/r^2$ мГр/с, где r – расстояние в метрах от места возможного возникновения СЦР до блоков детектирования (r – не менее 1 м), при этом доза нейтронного излучения до момента срабатывания блока детектирования должна быть не более $3/r^2$ мГр.

Пороги срабатывания в единицах плотности потока нейтронов должны определяться с учетом энергетической зависимости их спектра и чувствительности блоков детектирования. При значениях r не более 30 м порог срабатывания по плотности тепловых нейтронов не должен превосходить для блоков детектирования тепловых нейтронов – $3 \cdot 10^5$ $см^{-2} \cdot с^{-1}$, для блоков детектирования быстрых нейтронов с энергией 1 МэВ – $5 \cdot 10^4$ $см^{-2} \cdot с^{-1}$.

МЭК, *ИСО АНСИ* нет отдельных требований.

Критерий регистрации по дозе

ПБЯ: 2.2.2. Порог срабатывания САС определяется требованием обнаружения минимальной СЦР, которая создает на расстоянии 1 м от места возникновения в отсутствие поглощающих экранов дозу, равную 0,25 Гр (25 рад) в течение не более 60 с.

МЭК: 4.2. Критерий обнаружения…за минимальное событие можно принять такое, при котором эквивалент поглощенной дозы нейтронного и

гамма-излучения в воздухе составит 0,2 Гр за 60 секунд на расстоянии 2 м от материала, в котором происходит реакция.

ИСО: 4.2. Критерий регистрации…в результате минимальной критической аварии поглощенная доза нейтронного и гамма-излучения в воздухе, равная 0,2 Гр, передается за 60 с на расстояние 2 м от реагирующего вещества.

АНСИ: 5.6. Критерий регистрации…в результате минимальной критической аварии на расстояние 2 м от реагирующего вещества передается эквивалент мощности поглощенной дозы в воздухе, равный 0,2 Гр/мин (20 рад/мин).

Критерий регистрации по мощности дозы

ПБЯ: 2.2.3. Если система основана на регистрации мощности дозы гамма-излучения, то порог срабатывания блока детектирования не должен превосходить $0{,}3/r^2$ мГр/с, где r – расстояние в метрах от места возможного возникновения СЦР до блоков детектирования (r - не менее 1 м), при этом доза гамма-излучения до момента срабатывания блока детектирования должна быть не более $1/r^2$ мГр. Это соответствует порогу срабатывания 0,3 мкГр/с и дозе 1 мкГр при значениях r – не более 30 м.

МЭК: нет требований по мощности дозы: 6.4. Порог обнаружения для срабатывания сигнализации 6.4.1. Требования…Порог обнаружения для срабатывания сигнализации должен быть таким, чтобы… оборудование …было способно обнаруживать излучение с эквивалентной или поглощенной дозой нейтронного и гамма-излучения в воздухе… 0,2 Гр за 60 секунд на расстоянии 2 м от материала, в котором происходит реакция… 6.4.2. Метод испытаний…Испытания следует проводить с импульсами излучения различной длительности, в диапазоне примерно от 1 мс до 3 с.

ИСО: 3.5.4. Детекторы должны безотказно запускать аварийную сигнализацию при воздействии на них мощного излучения, превышающего 1000 Гр/ч.

АНСИ: 5.6. Критерий регистрации …С этой целью можно предположить, что в зонах проведения работ или обработки делящихся материалов, имеющих только расчетную защиту, в результате минимальной критической аварии на расстояние 2 м от реагирующего вещества передается эквивалент мощности поглощенной дозы в воздухе, равный 0,2 Гр/мин...

Изменение порога срабатывания

ПБЯ: 2.2.6. В случае невозможности устранить значительное поглощение излучения от места возможного возникновения СЦР до блоков детектирования последние необходимо приблизить к контролируемому оборудованию или снизить порог срабатывания системы таким образом, чтобы удовлетворились требования п. 2.2.2, п. 2.2.3 или п. 2.2.4. Значения порогов срабатывания и максимальных расстояний от блоков детектирования до оборудования в зависимости от вида поглощающего материала и его толщины приведены в табл. 1 и 2.

Таблица 1 – Максимальное значение порога срабатывания блока детектирования при различных толщинах поглощающих материалов, (мкрад/с)

Толщина поглощающего материала, м	Поглощающий материал						
	Бетон			Вода	Кирпич	Стекло	Железо
	ρ = 2,2	ρ = 3,2	ρ = 4,2	ρ = 1,0	ρ = 1,8	ρ = 3,86	ρ = 7,89
а) Регистрируемое излучение СЦР - фотоны							
0	30	30	30	30	30	30	30
0,05	23	21	19	30	24	13	10
0,10	18	14	11	29	20	7	3
0,20	11	6	5	26	13	3	-
0,30	7	3	2	19	8	1	-
0,40	4	1	1	14	6	-	-
0,50	2	-	-	10	4	-	-
0,60	1	-	-	7	3	-	-
0,70	-	-	-	5	2	-	-
0,80	-	-	-	3	1	-	-
0,90	-	-	-	2	-	-	-
1,00	-	-	-	1	-	-	-
б) Регистрируемое излучение СЦР - нейтроны							
0	100	100	100	100	100	100	100
0,05	82	75	70	56	85	95	93
0,10	67	56	50	30	72	87	77
0,20	42	26	24	9	51	67	50
0,30	22	10	12	2	33	48	31
0,40	11	4	4	-	20	31	19
0,50	5	1	1	-	11	21	11
0,60	2	-	-	-	6	15	7
0,70	1	-		-	3	10	4
0,80	-	-	-	-	2	7	2
0,90	-	-	-	-	1	5	1
1,00	-	-	-	-	-	3	-

Примечания:

Расстояние от блока детектирования до места возможного возникновения СЦР – 30 м.

ρ –плотность материала, т/м^3.

Приведенные значения порогов консервативно округлены до целых значений.

Допускается линейная интерполяция данных для определения промежуточных значений.

Таблица 2 – Максимальное расстояние от блоков детектирования до места возможного возникновения СЦР при различных толщинах поглощающих материалов, м

Толщина поглощающего материала, м	Поглощающий материал						
	Бетон			Вода	Кирпич	Стекло	Железо
	ρ = 2,2	ρ = 3,2	ρ = 4,2	ρ = 1,0	ρ = 1,8	ρ = 3,86	ρ = 7,89
а) Регистрируемое излучение СЦР - фотоны. Порог срабатывания блока детектирования 30 мкрад/с							
0	30	30	30	30	30	30	30
0,05	26	25	24	30	27	19	16
0,10	23	20	19	30	24	15	9
0,20	18	14	13	27	20	9	5
0,30	14	9	8	24	16	6	3
0,40	11	6	5	21	13	4	2
0,50	8	4	3	17	10	3	2
0,60	6	3	2	14	8	3	1
0,70	5	2	1	11	7	2	-
0,80	4	1	-	9	5	2	-
0,90	3	-	-	7	4	1	-
1,00	2	-	-	6	3	-	-
а)* Регистрируемое излучение СЦР - нейтроны. Порог срабатывания блока детектирования 100 мкрад/с							
0	30	30	30	30	30	30	30
0,05	27	26	26	22	28	29	28
0,10	24	22	21	16	25	28	26
0,20	19	15	15	9	21	24	21
0,30	14	9	10	5	17	20	16
0,40	10	5	6	2	13	16	13
0,50	7	3	3	-	10	13	10
0,60	4	1	1	-	7	11	7
0,70	3	-	-	-	5	9	5
0,80	1	-	-	-	3	7	4
0,90	-	-	-	-	2	6	3
1,00	-	-	-	-	1	4	2

Примечания:

ρ – плотность материала, т/м^3.

Приведенные расстояния консервативно округлены до целых значений.

Допускается линейная интерполяция данных для определения промежуточных значений.

МЭК: 4.14.2…Уставка сигнализации системы детектирования должна допускать настройку. Элементы управления настройками должны быть защищены от несанкционированного вмешательства... 6.4.1. Требования. Порог обнаружения для срабатывания сигнализации должен быть таким, чтобы после того, как оборудование будет установлено, оно было способно обнаруживать излучение с эквивалентной или поглощенной дозой нейтронного и гамма-излучения в воздухе 0,2 Гр за 60 секунд на расстоянии 2 м от материала, в котором происходит реакция (см. пункт 4.2).

ИСО: 4.5. *Расположение детекторов.* Местоположение детекторов и расстояние между ними необходимо выбирать таким образом, чтобы избежать воздействия экранирования массивным оборудованием или материалами.

АНСИ: 5.7.3. Размещение…Местоположение детекторов и расстояние между ними необходимо выбирать таким образом, чтобы свести к минимуму воздействие экранирования массивным оборудованием или материалами.

Обсуждение

Основным документом, на который должны опираться отечественные системы, являются правила ПБЯ-06-10-99, но в то же время стандарт МЭК является самым последним разработанным документом из всех перечисленных документов, поэтому при расхождениях требований ПБЯ к САС СЦР с требованиями других документов необходимо в первую очередь учитывать стандарт МЭК.

Требование ПБЯ к необходимости установления САС СЦР по массе делящихся материалов является более консервативным по сравнению с требованиями документов ИСО и АНСИ, но стандарт МЭК не предъявляет требования к необходимости установления САС СЦР.

Стандарт МЭК предъявляет требования к энергетической зависимости детекторов САС СЦР к гамма- и нейтронным излучениям (п. 6.2) при отсутствии аналогичных требований со стороны ПБЯ и стандартов ИСО и АНСИ. Системы САС СЦР являются средствами измерения дозы, т.к. аварийная сигнализация системами САС СЦР генерируется в результате сравнения измеренного значения дозы со значениями аварийных уставок. Следовательно, системы САС СЦР должны соответствовать вышеуказанному метрологическому требованию.

Стандарт МЭК предписывает проведение испытаний систем с импульсами излучения в диапазоне от 1 мс (п. 6.4.2) при отсутствии требований со стороны ПБЯ и стандартов ИСО и АНСИ.

Существенным различием в требованиях документов является требование п. 2.2.6 ПБЯ «…снизить порог срабатывания таким образом, чтобы удовлетворялись требования п. 2.2.3 и п. 2.2.4» в случае невозможности устранения поглощения излучения от места возникновения СЦР до блоков детектирования, отсутствующее в других документах. Данное требование разрешает эксплуатирующей организации менять технические характеристики

САС СЦР, в то время как в других документах высказываются лишь пожелания о минимизации экранировки детекторов при размещении.

Ни в одном из вышеуказанных документов не введена операционная дозиметрическая величина, например поглощенная доза в воздухе или эквивалент амбиентной дозы H*(10). Необходимо отметить то, что стандарт МЭК выгодно отличается от остальных документов, где:

- не установлены эталонные условия испытаний для проверки характеристик блоков детектирования, которые определяют тип излучения, энергию излучения, диапазон и погрешность воспроизведения величины, температуру, влажность, давление;
- не установлены требования к диапазону регистрируемых энергий гамма-излучения и предельной величине зависимости чувствительности блока детектирования от энергии;
- не указаны энергии излучения при установлении требований к зависимости чувствительности блока детектирования от угла падения излучения, в то время как без указания энергии излучения характеристика анизотропии теряет смысл.

2. Работа в аварийных условиях накладывает дополнительные требования к переносным дозиметрам гамма-, бета- и рентгеновского излучений. Ниже приведены требования из стандарта ***МЭК 60846-2, 2007-07 Приборы радиационной защиты – Измерители и/или мониторы (мощности) амбиентного и/или направленного эквивалента дозы бета-, рентгеновского и гамма-излучения – Часть 2: Портативные измерители дозы и мощности дозы в верхнем диапазоне бета- и фотонного излучения для радиационной защиты в аварийной ситуации***.

Настоящая часть серии МЭК 60846 распространяется на портативные и/или передвижные измерители и/или мониторы (мощности) эквивалента дозы, предназначенные для измерения (мощности) эквивалента дозы внешнего бета-, рентгеновского и гамма-излучения в аварийных ситуациях. Стандарт применяется непосредственно к измерителям (мощности) эквивалента дозы для определения в аварийных ситуациях эквивалента дозы или мощности эквивалента дозы внешнего бета-, рентгеновского и гамма-излучения с энергиями до 10 МэВ. Целью настоящей части серии МЭК 60846 является установление требований и рабочих характеристик измерителей (мощности) эквивалента дозы, предназначенных для определения в аварийных ситуациях (мощности) амбиентного и/или направленного эквивалента дозы в соответствии с Техническим отчетом МКРЕ 47.

Термины

экстракамеральная чувствительность – чувствительность всех частей измерительного прибора, за исключением самого детектора, к излучению.

Общие характеристики

Диапазон эквивалента дозы и мощности эквивалента дозы. Для вы-

полнения рекомендаций МКРЕ требуется определить мощность эквивалента дозы по широкому диапазону значений. В некоторых случаях требуется измерить такую высокую мощность эквивалента дозы, как 10 Зв/ч. В случае применения измерительного прибора, предназначенного для использования в аварийных ситуациях, интересующие мощности эквивалента дозы находятся в пределах диапазона, составляющего приблизительно от 1 мЗв/ч до 10 Зв/ч. Если в приборе предусмотрена возможность интегрирования, интересующий диапазон эквивалента дозы составляет от 1 мЗв до 10 Зв.

Минимальный диапазон измерения. Минимальный действительный диапазон измерений мощности эквивалента дозы должен охватывать, как минимум, четыре порядка величины и включать в себя диапазон от 1 мЗв/ч до 10 Зв/ч. Минимальный действительный диапазон измерений эквивалента дозы должен охватывать, как минимум, четыре порядка величины и включать в себя значение 10 Зв.

Радиационные характеристики. Основная относительная погрешность. В стандартных условиях испытаний основная относительная погрешность чувствительности дозиметра для измерения (мощности) эквивалента дозы при воздействии излучения не должна превышать ± 20 % по всему эффективному диапазону измерений для любого выбранного излучения, бета- или фотонного излучения. *Примечание. Данная погрешность является дополнительной погрешностью к неопределенности определения условного истинного значения (мощности) амбиентного/направленного эквивалента дозы.*

Изменение чувствительности в зависимости от энергии и угла падения бета-излучения. Чувствительность измерителя (мощности) направленного эквивалента дозы к бета-излучению, создаваемому эталонным излучением $^{90}Sr/^{90}Y$ в калибровочном направлении, не должна отличаться от единицы более чем на ± 50 %. Кроме того, изготовитель должен указать чувствительность к эталонному излучению ^{85}Kr или ^{204}Tl.

Изменение чувствительности в зависимости от энергии и угла падения фотонного излучения

Относительная чувствительность, обусловленная изменением энергии и угла падения излучения, не должна превышать следующие значения:

- от 0,71 до 1,67 для энергии от 80 кэВ до 1,5 МэВ и угла падения от 0° до ±60° и от 180° до (180°±60°);

- от 0,625 до 2,50 для энергии от 80 кэВ до 1,5 МэВ и угла падения от ±60° до ±120°; однако при 90°±10° допускается более низкая чувствительность, равная 0,50;

- от 0,625 до 2,50 для энергии от 1,5 МэВ до 7 МэВ и угла падения от 0° до ±60° и от 180° до (180°±60°).

Коэффициент вариации по дозе должен быть в пределах:

для H <1мЗв 15%;

для 1мЗв ≤H ≤11мЗв (16 – H/1 мЗв)%;

для H ≥11мЗв 5 %

Коэффициент вариации по (мощности) дозы должны быть в пределах:

для H < 1мЗв/ч 15%;

для 1мЗв/ч ≤H ≤11мЗв/ч (16 – H/1мЗв/ч)%;

для H ≥11мЗв/ч 5%,

где Н - значение (мощности) дозы.

В других разделах стандарта приведены требования к электрическим, механическим характеристикам дозиметров, характеристикам окружающей среды, перечню документации.

Приложение 5 (справочное). Международные стандарты по средствам контроля радиационной обстановки

Ниже приведен перечень стандартов по приборам контроля радиационной и ядерной безопасности, разработанных в Международной электротехнической комиссии (МЭК) и Международной организации по стандартизации (ИСО). Стандарты приводятся по группам назначения: дозиметрия гамма-, рентгеновского и бета-излучения, нейтронов, радиометрия газов и аэрозолей, спектрометрия и другие приборы. Приведены также ПБЯ-06-10-99 и стандарты МЭК, ИСО и АНСИ с требованиями к системам аварийной сигнализации о самоподдерживающейся цепной реакции, стандарт ИСО с требованиями к отбору проб воздуха из венттруб. Приведен технический отчет МЭК по расчету неопределенностей дозиметрических измерений и стандарт МЭК с требованиями по электромагнитной совместимости, к характеристикам окружающей среды, устойчивости к внешним влияющим факторам в зависимости от категории размещения приборов.

Дозиметрия гамма-, рентгеновского и бета-излучения

1. IEC 60846-1, 2009-04, Radiation protection instrumentation – Ambient and/or directional dose equivalent (rate) meters and/or monitors for beta, X and gamma radiation – Part 1: Portable workplace and environmental meters and monitors
2. IEC 60846-2, 2007-07, Radiation protection instrumentation – Ambient and/or directional dose equivalent (rate) meters and/or monitors for beta, X and gamma radiation – Part 2: High range beta and photon dose and dose rate portable instruments for emergency radiation protection purposes
3. IEC 60532, (2010-08) Ed. 3.0 Radiation protection instrumentation – Installed dose rate meters, warning assemblies and monitors – X and gamma radiation of energy between 50 keV and 7 MeV
4. IEC 61584, 2001-06, Radiation protection instrumentation – Installed, portable or transportable assemblies - Measurement of air kerma direction and air kerma rate
5. IEC 60951-3 (2009-06) Ed. 2.0 Nuclear power plants - Instrumentation important to safety – Radiation monitoring for accident and post-accident conditions – Part 3: Equipment for continuous high range area gamma monitoring

Дозиметрия нейтронов

6. IEC 61005, 2014-07, Radiation protection instrumentation ▌ Neutron ambient dose equivalent (rate) meters
7. IEC 61322, 1994-12, Radiation protection instrumentation – Installed dose equivalent rate meters, warning assemblies and monitors for neutron radiation of energy from thermal to 15 MeV

Контроль альфа-, бета- и гамма–загрязненности поверхностей

8. IEC 60325, 2002-06, Radiation protection instrumentation Alpha, beta and alpha/beta (beta energy >60 keV) contamination meters and monitors
9. IEC 62363 2008-04, Portable photon contamination meters and monitors
10. IEC 61098, ed. 2, 2003-11 Installed personnel surface contamination monitoring assemblies

Индивидуальные дозиметры

11. IEC 61526 ed 3, 2010-07, Radiation protection instrumentation – Measurement of personal dose equivalents *Hp*(10) and *Hp*(0,07) for X, gamma, neutron and beta radiations –Direct reading personal dose equivalent meters
12. IEC 61066 ed. 2, 2006-06, Thermoluminescence dosimetry systems for personal and environmental monitoring
13. IEC 62387 Edition 1.0 (2012-12-04) Radiation protection instrumentation – Passive integrating dosimetry systems for personal and environmental monitoring of photon and beta radiation

Контроль воздушной среды

14. IEC 61172 (1992-09) Ed. 1.0, Radiation protection instrumentation – Monitoring equipment - Radioactive aerosols in the environment
15. IEC 61578, 1997-08, Radiation protection instrumentation – Calibration and verification of the effectiveness of radon compensation for alpha and/or beta aerosol measuring instruments - Test methods
16. IEC 61171 (1992-09) Ed. 1.0, Radiation protection instrumentation – Monitoring equipment - Atmospheric radioactive iodines in the environment
17. IEC 62302, 2007-09, Radiation protection instrumentation – Equipment for sampling and monitoring radioactive noble gases
18. IEC 62303,2008-12, Radiation protection instrumentation – Equipment for monitoring airborne tritium

Контроль выбросов

19. IEC 60761-1, ed.2, 2002-01, Radiation protection instrumentation. Equipment for continuously monitoring radioactivity in gaseous effluents. Part 1: – General requirements
20. IEC 60761-2, ed.2, 2002-01, Radiation protection instrumentation. Equipment for continuously monitoring radioactivity in gaseous effluents. Part 2: – Specific requirements for radioactive aerosols monitors including transuranic aerosols

21. IEC 60761-3, ed2, 2002-01, Radiation protection instrumentation. Equipment for continuously monitoring radioactivity in gaseous effluents. Part 3: – Specific requirements for radioactive noble gas monitors
22. IEC 60761-4, ed.2, 2002-01, Radiation protection instrumentation. Equipment for continuously monitoring radioactivity in gaseous effluents. Part 4: – Specific requirements for radioactive iodine monitors
23. IEC 60761-5, ed.2, 2002-01, Radiation protection instrumentation. Equipment for continuously monitoring radioactivity in gaseous effluents. Part 5: – Specific requirements for tritium effluent monitors
24. ISO 2889:2010 Sampling airborne radioactive materials from the stacks and ducts of nuclear facilities

Контроль радона

25. IEC 61577-1, 2006-07, Radiation protection instrumentation - Radon and radon decay product measuring instruments - Part 1: General principles
26. IEC 61577-2, 2000-10, Radon and radon decay product measuring instruments. Part 2. Specific requirements for radon measuring instruments
27. IEC 61577-3, 2002-04, Radon and radon decay product measuring instruments – Part 3: Specific requirements for radon decay measuring instruments
28. IEC 61577-4, 2009-02, Radon and radon decay product measuring instruments - Part 4: Equipment for the production of reference atmospheres containing radon isotopes and their decay products (STAR) Maintenance Result Date: 2011
29. IEC 61263, Edition 1.0 (1994-06-22) Radiation protection instrumentation – Portable potential alpha energy meter for rapid measurements in mines

Контроль жидких сред

30 IEC 60861 Ed. 2.0, 2006-08-21, Equipment for monitoring of radionuclides in liquid effluents and surface waters
31. IEC 60768:2009 Edition 2.0 (2009-04-29) Nuclear power plants – Instrumentation important to safety – Equipment for continuous in-line or on-line monitoring of radioactivity in process streams for normal and incident conditions

Радиометры загрязненности, портальные мониторы

32. IEC 62022 ed. 1, 2004-07, Installed monitors for the control and detection of gamma radiations contained in recyclable or non-recyclable materials transported by vehicles
33. IEC 62244 ed. 1, 2006-06, Installed radiation monitors for the detection of radioactive and special nuclear materials at national borders

Аэро-, авто-гамма-съемка

34. IEC 61134 ed. 1, 1992-06, Airborne instrumentation for measurement of terrestrial gamma radiation
35. IEC 62438 ed1.0 (2010-03) Radiation protection instrumentation – Mobile instrumentation for the measurement of photon and neutron radiation in the environment

Спектрометры

36. IEC 61562, 2001-05, Radiation protection instrumentation – Portable equipment for measuring specific activity of beta emitting radionuclides in foodstuffs
37. IEC 61563, 2001-06, Radiation protection instrumentation – Equipment for measuring specific activity of gamma-emitting radionuclides in foodstuffs
38. IEC 61275 ed2.0 (2013-05) TC/SC 45B Radiation protection instrumentation – Measurement of discrete radionuclides in the environment - In situ photon spectrometry system using a germanium detector
39. IEC 61560, 1998-02, Radiation protection instrumentation – Apparatus for non-destructive radiation tests of fur and other cloth samples
40. IEC 61582, 2004-01, Radiation protection instrumentation – In vivo counters - Classification, general requirements and test procedures for portable, transportable and installed equipment
41. IEC 62694, 2014-03, Radiation protection instrumentation – Backpack-type radiation detector (BRD) for the detection of illicit trafficking of radioactive material

Сигнализаторы, идентификаторы

42. IEC 61256, 1996-10, Radiation protection instrumentation – Installed monitors for the detection of radioactive contamination of laundry
43. IEC 62401 Ed. 1, 2007-07, Radiation protection instrumentation – Alarming personal radiation devices (PRD) for detection of illicit trafficking of radioactive material
44. IEC 62534 Ed.1.0 2010-06-21, Radiation protection instrumentation – Highly sensitive hand-held instruments for neutron detection of radioactive material
45. IEC 62618 Edition 1.0 (2013-02-21) Radiation protection instrumentation – Spectroscopy-based alarming Personal Radiation Detectors (SPRD) for the detection of illicit trafficking of radioactive material

Программно-технический комплекс верхнего уровня систем радиационного контроля

46. IEC 61559-1 Edition 1.0 (2009-05-26) Radiation protection instrumentation in nuclear facilities – Centralized systems for continuous monitoring of radiation and/or levels of radioactivity – Part 1: General requirements
47. IEC 61559-2 Edition 1.0 (2002-06-14) Radiation in nuclear facilities – Centralized systems for continuous monitoring of radiation and/or levels of radioactivity – Part 2: Requirements for discharge, environmental, accident, or post-accident monitoring functions
48. IEC 61504 ed1.0, 2000-05-30, Nuclear power plants – Instrumentation and control systems important to safety - Plant-wide radiation monitoring

Контроль в аварийных и послеаварийных условиях на АЭС

49. IEC 60951-3 (2009-06) Ed. 2.0 Nuclear power plants – Instrumentation important to safety - Radiation monitoring for accident and post-accident conditions – Part 3: Equipment for continuous high range area gamma monitoring
50. IEC 60951-4 (2009-06) Ed. 2.0 Nuclear power plants – Instrumentation important to safety - Radiation monitoring for accident and post-accident conditions – Part 4: Equipment for continuous in-line or on-line monitoring of radioactivity in process streams

Системы аварийной сигнализации о возникновении самоподдерживающейся цепной реакции (САС СЦР)

51. ПБЯ-06-10-99 Отраслевые правила проектирования и эксплуатации систем аварийной сигнализации о возникновении самоподдерживающейся цепной реакции и организации мероприятий по ограничению ее последствий (ПБЯ)
52. IEC 60860, Edition 2.0 2014-06, Radiation protection instrumentation – Warning equipment for criticality accidents
53. ISO 7753-1987, Nuclear Energy – Performance and testing requirements for criticality detection and alarm systems
54. ANSI/ANS-8.3-1997 Criticality Accident Alarm System / Note: reaffirmation of ANSI/ANS 8.3-1997*Approved 2003-06-12, 1997-05-28

Расчет неопределенности в радиационных измерениях, нерадиационные испытания приборов

55. IEC/TR 62461, 2006-12, Radiation protection instrumentation – Determination of uncertainty in measurement
56. IEC 62706, Ed.1.0, 2012-12, Radiation protection instrumentation – Environmental, electromagnetic and mechanical performance requirements

Приложение 6 (информационное). Список исполнителей

Методические указания МУ 2.6.5.008-2016.
Контроль радиационной обстановки. Общие требования

Руководитель работы:	
к.т.н.	Ю.В. Абрамов (ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России)
Исполнители:	
к.ф.-м.н.	В.А. Кутьков (НИЦ «Курчатовский институт»),
д.т.н.	В.Н. Клочков (ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России)
д.т.н., профессор	В.П. Ярына (ФГУП «ВНИИФТРИ»),
д.т.н., профессор	Б.В. Поленов (АО «СНИИП»),
к.т.н.	К.Н. Нурлыбаев (НПП «Доза»),
к.ф.-м.н.	Ю.Н. Мартынюк (НПП «Доза»),
к.ф.-м.н.	А.И. Каракаш (НПП «Доза»)

gost.e-ecolog.ru