Государственное санитарно-эпидемиологическое нормирование
Российской Федерации

2.6.1. Ионизирующее излучение,
радиационная безопасность

ДОЗИМЕТРИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ВНУТРЕННЕГО ОБЛУЧЕНИЯ. ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ

Методические указания МУ 2.6.1.065-2014

Издание официальное

Москва, 2014

Предисловие

1. Разработаны:

Федеральным медико-биологическим агентством (к.т.н. Н.П. Поцяпун);

Федеральным государственным бюджетным учреждением «Государственный научный центр Российской Федерации – Федеральный медицинский биофизический центр имени А.И. Бурназяна» (ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России) (к.т.н., с.н.с. О.А. Кочетков, к.т.н. Ю.В. Абрамов, к.б.н. Б.А. Кухта, к.т.н. А.А. Молоканов, д.т.н., с.н.с. Ю.С. Степанов); ФГУП «Южно-Уральский институт биофизики» ФМБА России (ФГУП ЮУрИБФ) (к.б.н. В.В. Востротин); Российским научным центром «Курчатовский институт» (к.ф.-м.н. В.А. Кутьков); ООО Научно-технический Центр «Амплитуда» (ООО «НТЦ Амплитуда») (к.т.н. С.Ю.Антропов).

2. Рекомендованы к утверждению Подкомиссией по специальному нормированию ФМБА России (протокол № 8 от 06.11.2014 г.).

3. Утверждены Заместителем руководителя ФМБА России, Главным государственным санитарным врачом по обслуживаемым организациям и обслуживаемым территориям В.В.Романовым

4. Введены в действие с 01 января 2015 года.

5. Введены взамен МУ 2.6.1.26–2000 «Дозиметрический контроль профессионального внутреннего облучения. Общие требования».

Содержание

Предисловие к публикации ... 4
Введение ... 4
Область применения ... 7
Нормативные ссылки ... 7
Общие положения ... 8
Дозиметрический контроль внутреннего облучения ... 9
Дозиметрические величины для контроля внутреннего облучения ... 10
Виды дозиметрического контроля ... 10
Содержание дозиметрического контроля внутреннего облучения ... 11
Дозиметрический контроль рабочих мест ... 15
Индивидуальный дозиметрический контроль внутреннего облучения ... 17
Требования к метрологическому обеспечению дозиметрического контроля ... 20
Требования к методикам измерений ... 23
Требования к методикам расчетов ... 23
Порядок дозиметрического контроля внутреннего облучения (типовые требования) ... 24
Запись и хранение результатов измерений и определения дозы ... 25
Библиография ... 25
Приложение 1. Критические значения (M_C) измеряемых величин при проведении текущего дозиметрического контроля, соответствующие значению ОЭД, равному 0,1 мЗв ... 27
Приложение 2. Стандартная процедура расчета поступления и ОЭД ... 30
Приложение 3 (информационное). Типичные значения коэффициента K_{SF} ... 35
Приложение 4 (информационное). Способы определения порогов измерений $L_C^{ДКРМ}$ и $L_C^{ИДК}$ ... 36
Приложение 5 (информационное). Способы определения и рекомендуемые значения коэффициентов $\delta_k^{защ}$ и $\delta_k^{эд}$ ... 40
Приложение 6. Глоссарий ... 42
Приложение 7. Список исполнителей ... 46

Предисловие к публикации

Новая редакция Методических указаний МУ 2.6.1.26-2000 «Дозиметрический контроль профессионального внутреннего облучения. Общие требования» была утверждена в конце 2014 года под номером МУ 2.6.1.065-2014, но их общедоступная версия публикуется впервые совместно с новой редакцией Методических указаний МУ 2.6.1.16-2000 «Определение индивидуальных эффективных и эквивалентных доз и организаций контроля профессионального облучения в условиях планируемого облучения. Общие требования», которые утверждены в 2016 году под номером МУ 2.6.5.28-2016. Поскольку документ МУ 2.6.5.28-2016 является для рассматриваемого документа основополагающим, то в тексте МУ 2.6.1.065-2014 дана ссылка на новую редакцию документа МУ 2.6.5.28-2016 и приведены в соответствие с ним терминология и некоторые основные положения.

Введение

За время, прошедшее с момента выхода Методических указаний МУ 2.6.1.26-2000 «Дозиметрический контроль профессионального внутреннего облучения. Общие требования» [МУ 2.6.1.26-2000], подходы к контролю профессионального внутреннего облучения, содержащиеся в действующих Нормах радиационной безопасности НРБ-99/2009, не изменились. Однако за это время вышли стандарты Международной организации по стандартизации (ISO): 2553:2006 [ISO, 2006], 27048:2011 [ISO, 2011] и 28218:2010 [ISO, 2010a], определяющие, соответственно, минимальные требования к планированию программ дозиметрического контроля (ДК) внутреннего облучения [ISO, 2006], процедурам интерпретации результатов измерений [ISO, 2011], а также устанавливающие критерии для обеспечения и контроля качества измерений, проводимых с использованием прямой (измерения *in vivo*[1]) и/или косвенной (измерения *in vitro*[2]) дозиметрии [ISO, 2010]. В результате, обновление МУ 2.6.1.26-2000, по прошествии срока его действия, потребовало не только новой редакции документа с учетом опыта его внедрения, но также и адаптации его положений к требованиям перечисленных выше стандартов ISO. Эти требования касаются практически всех пунктов МУ 2.6.1.26-2000, детализируя их основные положения. Вместе с тем, они не меняют заложенную в них методологию контроля доз. Так, необходимость указания величины неопределенности оценки индивидуальной дозы работника и подходы к ее расчету появились в МУ 2.6.1.26-2000 раньше, чем в стандарте ISO 27048:2011. Таким образом, данные Методические указания (МУ) имеют те же цели и содержат в основе своей ту же методологию контроля доз персонала, что и МУ 2.6.1.26-2000, но при этом все положения нового документа согласованы с требованиями международных стандартов ISO. В частности, в тексте МУ приведена таблица максимальных значений интервалов между измерениями для проведения текущей программы индивидуального дозиметрического контроля, изменены требования к допустимым уровням неопределенности при определении индивидуальной дозы внутреннего облучения, изменен термин «ГДК» на «ДКРМ» - дозиметрический контроль рабочих мест, изменен способ расчета максимального значения индивидуальных ОЭД работников при проведении ДКРМ, изменен термин «Регламент ДК» на «Порядок ДК», а также конкретизированы требования к содержанию Порядка ДК и к методикам выполнения расчета дозы. В Приложениях к настоящим МУ приведены критические значения (M_C) измеряемых величин при проведении текущего дозиметрического контроля, соответствующие значению ОЭД, равному 0,1 мЗв, а также стандартная процедура расчета поступления и ОЭД работника при проведении индивидуального

[1] измерение содержания радионуклидов в отдельных тканях и органах (или во всем теле) с использованием спектрометров излучения человека (СИЧ).

[2] измерение содержания радионуклидов в экскретах (моча, кал), образцах крови, выдыхаемом воздухе, секционном материале и прочих пробах биологического материала.

дозиметрического контроля, в основном повторяющая процедуру, представленную в стандарте ISO 27048:2011.

Целью данных Методических указаний является установление общих требований к системе дозиметрического контроля внутреннего облучения персонала предприятий ГК «Росатом», отвечающих требованиям СанПиН 2.6.1.2523-09 «Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009)» и СП 2.6.1.2612-10 «Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010)» в контролируемых условиях эксплуатации техногенных источников ионизирующего излучения.

Устанавливаемая система ДК внутреннего облучения базируется на использовании накопленного отечественного опыта, отраженного в научных разработках и методических рекомендациях, а также на требованиях стандартов Международной организации по стандартизации (ISO), рекомендациях Международной комиссии по радиологической защите (МКРЗ) и руководствах Международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ) по общим требованиям к обеспечению радиационной безопасности. Внедрение в практику настоящих МУ приведет к созданию системы контроля внутреннего облучения персонала, отвечающей требованиям, выработанным международным сообществом, и позволит получать достоверную информацию об индивидуальных дозах внутреннего облучения персонала, что обеспечит выполнение требований НРБ-99/2009 в части определения степени соблюдения принципов радиационной безопасности и требований нормативов.

Поскольку прямое определение индивидуальных доз внутреннего облучения невозможно, для целей ДК персонала эта задача решается в два этапа:

- проведение измерений содержания радионуклидов либо в воздухе рабочих помещений, либо во всем теле человека или отдельных его органах, либо в выделениях или других пробах биологического происхождения;
- интерпретация результатов указанных измерений, т.е. восстановление значений величин поступления радионуклидов за год и ОЭД внутреннего облучения, обусловленной поступлением в организм данных радионуклидов, с использованием соответствующих моделей и в рамках конкретных методик выполнения расчетов.

УТВЕРЖДАЮ
Заместитель руководителя ФМБА России,
Главный государственный санитарный
врач по обслуживаемым организациям и
обслуживаемым территориям

_____ В.В. Романов

«06» ноября 2014 г.

Дата введения – с 01 января 2015 г.

2.6.1. ИОНИЗИРУЮЩЕЕ ИЗЛУЧЕНИЕ,
РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

ДОЗИМЕТРИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ВНУТРЕННЕГО ОБЛУЧЕНИЯ. ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ

Методические указания
МУ 2.6.1.065-2014

Область применения

1. Настоящие методические указания распространяются на систему организации и осуществления дозиметрического контроля внутреннего облучения персонала при поступлении радиоактивных веществ в организм человека через органы дыхания (ингаляционное поступление):

- предприятий (радиационных объектов), находящихся в ведении Госкорпорации «Росатом»;
- предприятий (радиационных объектов), подотчетных Госкорпорации «Росатом», независимо от их формы собственности.

Требования к методам определения доз внутреннего облучения (эффективных эквивалентных, поглощенных и т.д.) и к организации соответствующего контроля при иных путях поступления радионуклидов в организм, а также при аварийном облучении, определяются отдельными методическими документами.

Требования к системе контроля внутреннего облучения персонала при ингаляционном поступлении изотопов радона и их дочерних продуктов определяются в отдельных методических документах.

Поскольку, согласно п. 8.5 НРБ-99/2009, инертные газы (кроме изотопов радона и их дочерних продуктов) являются источниками внешнего облучения, ДК для них в данных МУ не рассматривается.

2. В настоящих методических указаниях в соответствии с требованиями НРБ-99/2009 и ОСПОРБ-99/2010 устанавливаются общие требования к методам определения индивидуальных доз облучения, планированию, организации и проведению дозиметрического контроля внутреннего облучения профессиональных работников при обращении с радиоактивными веществами в открытом виде в контролируемых условиях техногенного облучения (п. 3 НРБ-99/2009):

- в нормальных условиях эксплуатации (п. 3.1 НРБ-99/2009);
- при планируемом повышенном облучении (п. 3.2 НРБ-99/2009).

3. Методические указания предназначены для использования специалистами в области дозиметрии внутреннего облучения при разработке Порядка ДК внутреннего облучения, соответствующих методик измерений и выполнения расчетов, а также программ дозиметрического контроля персонала предприятий и учреждений Госкорпорации «Росатом» (а также предприятий и учреждений, подотчетных Госкорпорации «Росатом», независимо от их формы собственности).

4. Требования настоящих методических указаний не распространяются на методы определения ОЭД внутреннего облучения персонала, связанных с производственной деятельностью за период, предшествовавший введению НРБ-99.

5. Предприятие обязано привести деятельность по осуществлению дозиметрического контроля внутреннего облучения в соответствие с требованиями настоящих МУ в течение срока, согласованного для данного предприятия уполномоченным органом федерального государственного санитарно-эпидемиологического надзора.

Нормативные ссылки

6. В настоящих МУ учтены требования, указания и рекомендации, изложенные в следующих нормативных и методических документах:

СанПиН 2.6.1.2523-09 «Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009)»: Санитарные правила и нормативы.

СП 2.6.1.2612-10 «Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ 99/2010)»: Санитарные правила и нормативы.

МУ 2.6.5.28-2016. Методические указания «Определение индивидуальных эффективных и эквивалентных доз и организаций контроля профессионального облучения в условиях планируемого облучения. Общие требования».

ГОСТ 8.033-95. Государственный первичный эталон и государственная поверочная схема средств измерений активности и удельной активности радионуклидов в жидкостях.

ГОСТ Р 8.417-2002. Межгосударственный стандарт. ГСИ. Единицы величин.

ГОСТ Р 8.565-96. Метрологическое обеспечение эксплуатации атомных станций. Основные положения.

ГОСТ 8.638-2013 Государственная система обеспечения единства измерений. Метрологическое обеспечение радиационного контроля. Основные положения.

ГОСТ Р 8.736-2011 ГСИ. Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений. Основные положения

МИ 2955-05.ГСИ. Типовая методика аттестации программного обеспечения средств измерений и порядок ее проведения.

МИ 2891-04. ГСИ. Общие требования к программному обеспечению средств измерений.

МУК 4.4.19 – 08. «Относительные измерения. Радиометрия. Требования к методикам выполнения измерений активности образцов проб биологических объектов, объектов внешней среды и пищевых продуктов (с оценкой погрешности и неопределенности измерений)»: Федеральное медико-биологическое агентство.

Общие положения

7. В настоящих МУ в соответствии с требованиями НРБ-99/2009 и ОСПОРБ-99/2010 к обеспечению радиационной безопасности устанавливаются общие требования к системе ДК внутреннего облучения персонала предприятий и учреждений Госкорпорации «Росатом» (а также предприятий и учреждений, подотчетных Госкорпорации «Росатом» независимо от их формы собственности) в контролируемых условиях эксплуатации источников излучения:

8. Для обеспечения систематизации и единства методических подходов к дозиметрическому контролю в МУ устанавливаются:

- общие требования к планированию, организации и проведению ДК внутреннего облучения со стандартизацией основных положений системы контроля профессионального внутреннего облучения;
- требования (в общем виде) к способам и методам определения ожидаемой эффективной дозы внутреннего облучения как физической величины;
- требования к средствам измерений, методикам измерений, способам интерпретации результатов измерений – методикам выполнения расчетов и метрологическому обеспечению ДК.

9. Под индивидуальной дозой понимается доза (эффективная или эквивалентная доза в органе или ткани), которая была бы получена стандартным работником если бы:

- он находился в тех же производственных условиях и выполнял те же работы с источником, что и данный индивид (согласно МУ 2.6.1.16-2000);
- ожидаемые результаты радиометрических/спектрометрических измерений содержания радионуклидов с использованием методов *in vivo* или *in vitro* для стандартного работника (расчетные) те же, что и для данного индивида в реальных условиях в результате соответствующих измерений (экспериментальные).

10. При определении индивидуальной эффективной дозы работника (в соответствии с определением эффективной дозы) игнорируется ее возможное отличие от «истинной» дозы облучения, обусловленное различием между значениями следующих наборов параметров, характеризующих «стандартного работника», с одной стороны, и данного обследуемого работника, с другой стороны:

- антропометрических характеристик тела, отдельных органов и тканей;
- характеристик физиолого-биохимических показателей;
- констант, описывающих биокинетику химических элементов в организме человека.

Индивиду приписывается значение индивидуальной дозы, полученное в результате проведения на предприятии дозиметрического контроля.

Дозиметрический контроль внутреннего облучения

11. Дозиметрический контроль внутреннего облучения является неотъемлемой частью системы радиационного контроля предприятия и направлен на обеспечение радиационной безопасности и защиту здоровья персонала предприятия от воздействия открытых радионуклидных источников.

12. Целью ДК внутреннего облучения персонала в контролируемых условиях эксплуатации техногенных ИИИ является определение степени соблюдения принципов радиационной безопасности[3] и требований нормативов, включая непревышение установленных основных пределов доз и допустимых уровней (п. 7.1 НРБ-99/2009).

13. В соответствии с поставленной целью, основными задачами ДК внутреннего облучения персонала являются:

- в нормальных условиях обращения с радиоактивными веществами в открытом виде:
  - прогнозирование уровня хронического[4] облучения персонала в рабочих помещениях (в рабочих зонах) по результатам регулярных измерений в них объемной активности радионуклидов с чувствительностью и периодичностью, достаточной для определения годового значения ОЭД на уровне, значимом с точки зрения ее регистрации и осуществления принципа оптимизации;
  - ограничение уровня облучения персонала путем уменьшения доли рабочего времени нахождения в помещениях с высоким потенциальным уровнем облучения; использования коллективных и индивидуальных средств защиты персонала; установления контрольных уровней облучения и проведения профилактических мероприятий; вывода работника из условий работы с повышенным уровнем облучения;
  - определение фактического уровня облучения персонала по результатам регулярных (см. табл. 1) измерений индивидуальных характеристик внутреннего облучения работников в течение календарного года с чувствительностью и периодичностью, достаточной для определения годового значения индивидуальной ОЭД на уровне, обеспечивающем определение степени соблюдения принципа нормирования;
  - документирование уровня облучения персонала в соответствии с требованиями Федеральных Законов и нормативных документов;
- в условиях планируемого повышенного облучения (после предполагаемого повышенного поступления радионуклида в организм):

---

[3] А именно: *принципа нормирования* – непревышение допустимых пределов индивидуальных доз облучения граждан от всех источников излучения и *принципа оптимизации* – поддержание на возможно низком и достижимом уровне с учетом экономических и социальных факторов индивидуальных доз облучения и числа облучаемых лиц при использовании любого источника излучения (п. 2.1 НРБ-99/2009).

[4] Хроническое облучение обусловлено регулярным (ежесменным) поступлением радионуклидов в организм работника в результате постоянного загрязнения воздуха рабочих помещений, средний уровень которого определяют в процессе дозиметрического контроля рабочих мест (п. 18).

- многократное измерение индивидуальных характеристик внутреннего облучения работника до и после планируемого облучения (при необходимости – с использованием двух и более альтернативных методов ИДК);
- определение по результатам измерения значений индивидуальных ОЭД с точностью, необходимой для оценки потенциально опасного облучения;
- при превышении ОЭД уровня 100 мЗв – определение значений индивидуальных эквивалентных доз внутреннего облучения отдельных органов, в соответствии с требованиями соответствующих МУ, относящихся к методам определения доз внутреннего облучения в результате радиационной аварии.

Дозиметрические величины для контроля внутреннего облучения

14. Методология дозиметрического контроля персонала в контролируемых условиях эксплуатации ИИИ опирается на современную систему дозиметрических величин, которая включает:

- измеряемые физические величины, являющиеся радиационными характеристиками источников внутреннего облучения человека и позволяющие определить индивидуальную дозу работника;
- нормируемые величины, являющиеся мерой ущерба (вреда; п. 2.3 НРБ-99/2009) от воздействия излучения на человека[5].

15. Физическими величинами, характеризующими источники внутреннего облучения работника и измеряемые при дозиметрическом контроле внутреннего облучения, являются:

- $Q_{U,d,G}$ – определяемая в воздухе рабочего помещения (рабочей зоны) величина объемной активности соединений радионуклида U, обладающих дисперсностью d (выраженной в единицах АМАД или АМТД), которые следует отнести к типу химического соединения при ингаляции G;
- $S_{T,U}$ – удержание (активность) радионуклида U, определяемое в теле человека, органе (или ткани) T, либо содержание его в биологических образцах (выделениях – моча, кал, выдыхаемый воздух).

16. Нормируемыми величинами для дозиметрического контроля при внутреннем облучении персонала в контролируемых условиях обращения с радиоактивными веществами в открытом виде являются:

- $E(\tau)$ – ожидаемая эффективная доза внутреннего облучения (ОЭД);
- $\Pi_{U,d,G}$ – поступление в организм работника через органы дыхания соединений радионуклида U, которые при ингаляции следует отнести к обладающему дисперсностью d и типу химического соединения при ингаляции G.

Виды дозиметрического контроля

17. Для дозиметрического контроля профессионального внутреннего облучения используют:

- дозиметрический контроль рабочих мест (ДКРМ);
- индивидуальный дозиметрический контроль персонала (ИДК).

18. Дозиметрический контроль рабочих мест заключается в прогностической оценке уровня хронического облучения (ОЭД) персонала на рабочих местах[6] по результатам

[5] Значения которых устанавливаются регулирующими органами с целью ограничения облучения работника.

систематических измерений объемной активности в воздухе рабочих помещений (рабочих зон), характеризующей источники внутреннего облучения, с учетом и регулированием времени пребывания персонала в этих помещениях (в рабочих зонах). Проведение ДКРМ является одним из элементов контроля радиационной обстановки в рабочих помещениях (в рабочих зонах). Результаты ДКРМ используются:

- для прогностической оценки уровня хронического облучения персонала;
- для ограничения уровня облучения персонала путем регулирования времени его пребывания в рабочих помещениях (рабочих зонах), использования индивидуальных средств защиты и проведения профилактических мероприятий;
- для планирования индивидуального дозиметрического контроля внутреннего облучения персонала.

19. Значение уровня хронического облучения персонала (ОЭД за календарный год), полученное с помощью ДКРМ, может быть использовано в качестве значения индивидуальной ОЭД работника в нормальных условиях эксплуатации открытых радионуклидных источников излучения (п. 3.1, НРБ-99/2009), если нет показаний для обязательного введения ИДК для данного работника.

20. Индивидуальный дозиметрический контроль заключается в определении значения ОЭД внутреннего облучения персонала по результатам систематических индивидуальных измерений физических величин, характеризующих источники внутреннего облучения работника, с помощью инструментальных методов.

21. Согласно 15, индивидуальные измерения физических величин, характеризующих внутреннее облучение работника, заключаются в определении активности радионуклидов:

- во всем теле человека либо в его отдельных органах и тканях (измерения *in vivo*);
- в выделениях человека или других пробах биологического происхождения (измерения *in vitro*).

22. Индивидуальный дозиметрический контроль используется:

- для определения доз облучения работника в условиях нормальной эксплуатации источника излучения, если работник относится к персоналу группы А и значение уровня хронического облучения работника (ОЭД за календарный год), полученное с помощью ДКРМ, превышает уровень введения ИДК, $У_{ВК}$;
- для определения доз облучения представительной группы персонала с целью подтверждения уровня облучения работника на рабочем месте, не требующем обязательного введения ИДК (см. п. 26, подтверждающий контроль);
- для определения доз облучения всех лиц, работающих с источниками облучения в условиях планируемого повышенного облучения.

Содержание дозиметрического контроля внутреннего облучения

23. Дозиметрический контроль профессионального внутреннего облучения как на этапе ДКРМ, так и на этапе ИДК, заключается:

- в проведении систематических измерений физических величин, характеризующих источники внутреннего облучения работника, и
- в переходе от результатов измерений этих величин к индивидуальным значениям нормируемых величин.

24. Расчет прогнозируемой индивидуальной дозы при ДКРМ проводится согласно требованиям раздела 4.4 «Дозиметрический контроль рабочих мест». Прогностическую

---

[6] Рабочее место (для данного работника) – перечень рабочих помещений (рабочих зон) с указанием (доли) времени пребывания в них данного работника, определяемого исходя из его производственных обязанностей в течение календарного года.

оценку индивидуальных доз проводят на основании результатов измерений объемной активности радионуклидов в воздухе рабочих помещений (рабочих зон), $Q_{U,d,G}$ (см. раздел «Дозиметрические величины для контроля внутреннего облучения»).

25. Расчет индивидуальной дозы при ИДК проводится согласно требованиям раздела «Индивидуальный дозиметрический контроль внутреннего облучения». Определение индивидуальных доз проводят на основании результатов измерений активности радионуклида в теле человека, органе или ткани T и/или в биологических образцах (выделениях – моча, кал, выдыхаемый пар), $S_{T,U}$ (см. раздел «Дозиметрические величины для контроля внутреннего облучения»).

26. На каждом этапе (ДКРМ и ИДК) могут выполняться разные типы дозиметрического контроля: текущий, специальный, операционный и подтверждающий контроль:

- *Текущий контроль* осуществляется при постоянной работе персонала с радиоактивными веществами в открытом виде и имеет своей целью демонстрацию того, что условия эксплуатации источников излучения стабильно нормальные и уровни индивидуальных ожидаемых доз внутреннего облучения не превышают значений установленных показателей (контрольных величин).
- *Специальный контроль* персонала осуществляется для количественной оценки значимого облучения, последовавшего в результате предполагаемого или действительного события, выходящего за рамки нормального.
- *Операционный контроль* проводят для получения информации относительно отдельной производственной операции, совершаемой в ограниченный отрезок времени, или после проведения модификации оборудования или производственного процесса.
- *Подтверждающий контроль* проводят, используя ИДК, для определения доз облучения представительной группы персонала с целью подтверждения уровня облучения работников на рабочих местах, не требующих обязательного введения ИДК.

27. Для целей планирования и организации ДК внутреннего облучения персонала в контролируемых условиях эксплуатации источника излучения устанавливается ряд дозовых уровней:

- уровень введения индивидуального дозиметрического контроля ($У_{ВК}$) – такое значение ожидаемой эффективной дозы за год, при действительном или предполагаемом превышении которого определение доз внутреннего облучения следует проводить с помощью индивидуального дозиметрического контроля облучения работника[7];
- уровень действия ($У_{Д}$) – такое значение ожидаемой эффективной дозы за год, при действительном или предполагаемом превышении которого следует уточнить значение индивидуальной дозы с помощью процедуры специального контроля

[7] Если по имеющимся данным значение годовой дозы облучения работника на всех его рабочих местах не превышает или по прогнозу не может превысить $У_{ВК}$, то по согласованию с территориальными органами исполнительной власти, уполномоченными осуществлять федеральный государственный санитарно-эпидемиологический надзор, индивидуальную дозу работника определяют по результатам ДКРМ (п. 5.6, МУ 2.6.5.28-2016 «Определение индивидуальных эффективных и эквивалентных доз и организация контроля профессионального облучения в контролируемых условиях обращения с источниками излучения. Общие требования»).

(см. п. 26 и Приложение 3) и при необходимости провести мероприятия по ограничению уровня облучения персонала.

28. Значение $У_{ВК}$ устанавливается предприятием в диапазоне 1-5 мЗв и согласовывается с уполномоченным территориальный органом ФМБА России при разработке Порядка ДК внутреннего облучения персонала предприятия и должно быть приведено в этом документе.

29. Значение $У_{Д}$ устанавливается предприятием в зависимости от характера выполняемых работ, но не выше предела дозы (ПД), и согласовывается с уполномоченным территориальным органом ФМБА России при разработке Порядка ДК внутреннего облучения и должно быть приведено в этом документе.

30. В нормальных условиях обращения с источником:

- нецелесообразно устанавливать значения $У_{ВК}$ ниже 1 мЗв;
- решение об установлении значения $У_{ВК}$ выше 1 мЗв, но ниже 5 мЗв принимается по принципам обоснования и оптимизации с учетом достигнутого уровня радиационной безопасности на предприятии;
- значения $У_{ВК}$ не следует устанавливать выше 5 мЗв.

Принятие решения о значении $У_{ВК}$ для организации дозиметрического контроля персонала предприятия должно учитывать следующие основные факторы:

- ожидаемый уровень облучения;
- наиболее вероятный интервал, в котором лежат оцененные значения доз внутреннего облучения;
- сложность методов измерения и интерпретации, составляющих программу дозиметрического контроля.

31. Для целей планирования и проведения ДК внутреннего облучения персонала предприятие организует в рамках операционного контроля проведение исследований условий облучения персонала в рабочих помещениях (в рабочих зонах) в части определения:

- диапазона значений или распределения среднесменной или операционной объемной активности аэрозолей в рабочих помещениях в течение года;
- радионуклидного состава аэрозолей (процентный или долевой вклад каждого техногенного радионуклида U в суммарную объемную активность аэрозоля);
- дисперсности, d, аэрозолей (радионуклида U, выраженной в единицах АМАД или АМТД);
- типа химического соединения при ингаляции G, к которому следует отнести аэрозоли радионуклида U.

При осуществлении измерений в рамках ДКРМ определяют суммарную объемную активность аэрозолей техногенных радионуклидов или объемную активность аэрозолей техногенного радионуклида U в воздухе рабочих помещений (рабочих зон) с периодичностью и порогом измерений, достаточными для определения значения годовой ОЭД *в точке контроля* на уровне $0{,}2 \times У_{ВК}$. Критерием достаточности может служить следующее соотношение:

$$E_{1-\alpha}^{ДКРМ}(L_C^{ДКРМ}, \Delta L_C^{ДКРМ}) \le 0{,}2 \times У_{ВК} \qquad (1)$$

где

- $E_{1-\alpha}^{ДКРМ}(L_C^{ДКРМ}, \Delta L_C^{ДКРМ})$ – расчетное значение[8] верхней границы доверительного интервала годовой ОЭД[9], соответствующее результату измерения объемной

[8] См. Приложение 4.

активности аэрозолей, равному $L_C^{ДКРМ}$, с погрешностью, равной $\Delta L_C^{ДКРМ}$, при доверительной вероятности, равной 1-2×α, где α задает значение верхней (и нижней) границы доверительного интервала определения годовой ОЭД[10], мЗв в год;

- $L_C^{ДКРМ}$ – порог измерения[11] объемной активности аэрозолей, Бк/м^3.

Критерий (1) означает, что измеренное значение объемной активности (ОА) аэрозолей на уровне порога измерения ($L_C^{ДКРМ}$) является минимально значимой величиной, начиная с которой соответствующее значение годовой ОЭД может превысить уровень $0{,}2 \times У_{ВК}$. Другими словами, если ОА < $L_C^{ДКРМ}$, то ОЭД < $0{,}2 \times У_{ВК}$ и уровень облучения достаточно низок с точки зрения его оптимизации (то есть нет необходимости ограничивать время пребывания персонала в помещении, применять СИЗ ОД и т.д.).

При осуществлении измерений в рамках ИДК определяют активность техногенного радионуклида U (или суммы техногенных радионуклидов) либо в теле человека, органе (или ткани) *T*, либо в биологических образцах (выделениях – моча, кал, выдыхаемый воздух)[12] с периодичностью и чувствительностью измерений, достаточными для определения значения индивидуальной годовой ОЭД работника на уровне действия ($У_Д$). Критерием достаточности может служить следующее соотношение:

$$E_{1-\alpha}^{ИДК}(L_C^{ИДК}, \Delta L_C^{ИДК}) \le У_Д \qquad (2)$$

где

- $E_{1-\alpha}^{ИДК}(L_C^{ИДК}, \Delta L_C^{ИДК})$ – расчетное значение[13] верхней границы доверительного интервала годовой ОЭД, соответствующее результату измерения активности техногенного радионуклида в теле человека или в биологических образцах, равному $L_C^{ИДК}$, с погрешностью, равной $\Delta L_C^{ИДК}$, при доверительной вероятности, равной 1-2×α, где α задает значение верхней (и нижней) границы доверительного интервала определения годовой ОЭД, мЗв в год;
- $L_C^{ИДК}$ – порог измерения активности техногенного радионуклида в теле человека или в биологических образцах, Бк (Бк/орган, Бк/сутки).

Критерий (2) означает, что измеренное значение активности техногенного радионуклида ($A_{тех}$) в теле человека или в биологических образцах на уровне порога измерения ($L_C^{ИДК}$), является минимальной величиной, начиная с которой соответствующее значение годовой ОЭД может превысить уровень действия $У_Д$. Другими словами, если $A_{тех}$ < $L_C^{ИДК}$, то ОЭД

---

[9] Без учета коэффициента защиты органов дыхания и других поправочных коэффициентов, то есть в предположении, что работник находится в точке контроля без средств защиты органов дыхания в течение всего рабочего времени.

[10] Согласно стандарту ISO 27048:2011, п. 7.1.6, для определения верхней границы годовой ОЭД принято значение α = 0,05. Это значение соответствует 95%-ной вероятности того, что истинное значение ОЭД не превысит верхнюю границу $E_{0,95}^{ДКРМ}$ (и 90%-ной вероятности того, что доверительный интервал [$E_{0,05}^{ДКРМ}$, $E_{0,95}^{ДКРМ}$] содержит истинное значение ОЭД).

[11] Согласно стандарту ISO 11929-2010, порог измерения (порог принятия решения - decision threshold) – это фиксированное значение, L_C, измеряемой величины, количественно выражающей физический эффект, при превышении которого принимается решение, что измерение действительно отражает данный эффект. Порог измерения определяют таким образом, чтобы при превышении результата измерения значения L_C вероятность того, что истинное значение измеряемой величины равно нулю было бы меньше или равно заданному значению α (обычно α задают равным 0,05).

[12] См. п. 15.

[13] См. Приложение 4.

$< У_Д$ и условия работы являются приемлемыми с точки зрения нормирования, то есть индивидуальная ОЭД работника не превышает установленного предела (контрольного уровня) с заданной (например, 95%-ной) вероятностью.

Дозиметрический контроль рабочих мест

32. Основными задачами, решаемыми при дозиметрическом контроле рабочих мест персонала предприятия, являются:

- проведение регулярных измерений объемной активности аэрозолей техногенных радионуклидов в воздухе рабочих помещений (рабочих зон) с заданной периодичностью и чувствительностью измерений[14];
- прогностическая оценка уровня хронического облучения в рабочих помещениях (в рабочих зонах) и на рабочих местах по результатам измерений;
- ограничение уровня облучения персонала путем регулирования времени его пребывания в рабочих помещениях (рабочих зонах) в соответствии с производственной необходимостью, использования индивидуальных средств защиты и проведения профилактических мероприятий;
- планирования индивидуального дозиметрического контроля внутреннего облучения персонала;
- запись и хранение результатов ДКРМ.

33. При проведении ДКРМ в качестве оценки уровня хронического облучения работника следует принимать величину годовой ОЭД на его рабочем месте, определяемую по формуле:

$$E(\tau)^{PM} = 1{,}4 \times \sum_{U,d,G} \left(e(\tau)^{внутр}_{U,d,G} \times \sum_{k} \left(\{Q_{U,d,G}\}_k \times \Delta t_k \right) \right), \text{Зв} \qquad (3)$$

где

- $E(\tau)^{PM}$ – годовая ОЭД на рабочем месте;
- 1,4 – скорость дыхания стандартного работника, м^3/час;
- $e(\tau)^{внутр}_{U,d,G}$ – ожидаемая эффективная доза внутреннего облучения на единичное поступление соединения радионуклида U, которое при ингаляции следует отнести к обладающему дисперсностью d и типом химического соединения при ингаляции G (далее для краткости – дозовый коэффициент) при стандартных условиях внутреннего облучения согласно пп. 8.2-8.4 НРБ-99/2009, Зв/Бк; τ – период накопления ОЭД внутреннего облучения[15];
- Δt_k – длительность пребывания в k-м помещении (в k-й рабочей зоне) работника в течение календарного года в часах при средней годовой объемной активности $\{Q_{U,d,G}\}_k$ соединения (обладающего дисперсностью d и типом химического соединения при ингаляции G) радионуклида U в k-м помещении (в k-й рабочей зоне) в зоне дыхания работника[16], Бк/м^3.

---

[14] См. п. 32

[15] В соответствии с подходами Норм радиационной безопасности НРБ-99/2009, принимается, что τ равно 50 годам (тем не менее, в данном документе все соотношения приведены в общем виде).

[16] При использовании работником средств индивидуальной защиты органов дыхания в формулу (3) необходимо ввести среднее годовое значение коэффициента защиты органов дыхания, $\delta_k^{защ}$.

При использовании для расчета $E(\tau)^{PM}$ значения средней годовой объемной активности (ОА) радионуклида в помещении (на k-м рабочем месте), измеренной в точке, отличной от зоны дыхания работника, и/или использовании интервала интегрирования (времени отбора пробы), отличного от интервала пребывания работника на данном рабочем месте, в формулу (3)

Если тип соединения неизвестен, следует принимать максимальное значение $e(\tau)^{внутр}_{U,d,G}$, из приведенных в Приложении 1 к НРБ-99/2009.

34. Ограничение уровня облучения персонала осуществляют путем регулирования времени, Δt_k, его пребывания в k-м рабочем помещении (в k-й рабочей зоне) в соответствии с производственной необходимостью и с учетом вклада данного помещения в годовую ОЭД на рабочем месте, определяемого в соответствии с формулой (3).

35. Планирование индивидуального дозиметрического контроля внутреннего облучения персонала осуществляют в соответствии с административным и дозовым критерием (см. п. 27, ссылка 8). В качестве дозового критерия используют следующий критерий введения ИДК:

$$E^{PM}_{\max} > У_{ВК} \qquad (4)$$

где $E^{PM}_{\max}$ – максимальное[17] значение ОЭД на рабочем месте, определенное с учетом неопределенности результата определения значений $\{Q_{U,d,G}\}_k$ и параметров $\delta^{доз}_k$, $\delta^{защ}_k$, $\delta^{зд}_k$.

36. Для расчета максимального значения ОЭД на рабочем месте можно использовать статистический метод расчета неопределенности оценки дозы или упрощенную формулу, например:

$$E^{PM}_{\max} = 1{,}4 \times \sum_{U,d,G} \left(e(\tau)^{внутр}_{U,d,G} \times \sum_k \{\delta_k\}_{\max} \times \left(\{Q_{U,d,G}\}^{\max}_k \times \Delta t_k \right) \right) \qquad (5)$$

где

- $(\delta_k)_{\max}$ – максимальное значение коэффициента δ_k ($\delta_k = \delta^{доз}_k \times \delta^{защ}_k \times \delta^{зд}_k$);
- $\delta^{доз}_k$, $\delta^{защ}_k$, $\delta^{зд}_k$ – *усредненные за год* значения коэффициентов, характеризующих неопределенность значений:
  - дозового коэффициента ($\delta^{доз}_k$);
  - коэффициента защиты органов дыхания ($\delta^{защ}_k$);
  - коэффициента перехода ($\delta^{зд}_k$) от величины измеряемой объемной активности $(Q_{U,d,G})_k$ в помещении, обозначенном индексом k, к величине объемной активности в зоне дыхания работника с учетом погрешности измерения объемной активности, неоднородности ее распределения по помещению и разного времени усреднения (интегрирования) при отборе пробы воздуха и при нахождении работника на рабочем месте.
- $\{Q_{U,d,G}\}^{m\ a}_k$ – максимальное значение средней годовой объемной активности радионуклида с учетом неопределенности его определения.

Диапазон или плотность распределения вероятности возможных значений коэффициентов $\delta^{доз}_k$, $\delta^{защ}_k$, $\delta^{зд}_k$ устанавливают экспериментально или экспертным путем (см. Приложение 5).

необходимо ввести среднее годовое значение коэффициента перехода, $\delta^{зд}_k$, от измеренной величины к величине ОА, измеренной в зоне дыхания работника, $\{Q_{U,d,G}\}_k$.

[17] Обозначение $E^{PM}_{\max}$ следует понимать как максимальное значение определяемой величины E^{PM} при использовании упрощенного способа расчета и как верхнюю границу оценки величины E^{PM}, отражающую 95%-ную вероятность непревышения значения истинной величины E^{PM} данной границы при использовании статистического способа расчета.

Индивидуальный дозиметрический контроль внутреннего облучения

37. Основными задачами, решаемыми при индивидуальном дозиметрическом контроле внутреннего облучения персонала, являются:

- проведение систематических измерений указанных в п. 16 физических величин в соответствии с заданной периодичностью и чувствительностью измерений[18];
- расчет индивидуальных доз внутреннего облучения работника по результатам этих систематических измерений;
- запись и хранение результатов измерений и расчета дозы с указанием всех исходных для определения дозы данных, достаточных для воспроизведения процедуры расчета.

38. Результатом систематических измерений является относящийся к конкретному работнику (индивидуальный) набор измеренных значений активности техногенного радионуклида U (смеси техногенных радионуклидов) в теле человека или в отдельном органе или ткани либо в биологических пробах, $S_{T,U}(t_j)$, в моменты времени t_j. Величина $S_{T,U}(t)$ связана со скоростью поступления радионуклида $\pi_{U,d,G}(t)$ в организм таким образом, что для ее значений, относящихся к j-му периоду контроля (t_{j-1}, t_j) имеет место соотношение (в случае $S_{T,U}(t_0) = 0$):

$$S_{T,U}(t_j) = \sum_{d,G} \int_{t_0}^{t_j} \pi_{U,d,G}(t) \times \varphi_{U,d,G}(t_j - t) dt \qquad (6)$$

где

- t_0 – начало поступления радионуклида в организм работника;
- $S_{T,U}(t_j)$ – измеренная активность радионуклида в конце j-го периода контроля;
- $\varphi_{U,d,G}(t_j - t)$ – функция, определяющая удержание радионуклида U в теле человека или в отдельном органе или ткани либо содержание в биологических пробах (моче, кале, выдыхаемом воздухе) в момент времени t на единицу поступления при ингаляционном поступлении в момент времени t=0 его соединения, относящегося к типу химического соединения при ингаляции G в виде аэрозоля с дисперсностью d, выраженной в единицах АМАД или АМТД.

39. Интерпретация результатов измерений $S_{T,U}(t_j)$, сделанных в моменты времени t_j (j=1, ... , n) в течение календарного года, заключается в последовательном определении расчетным путем индивидуального поступления радионуклида U в организм работника за период контроля, $\Pi_{U,d,G}(t_{j-1}, t_j)$, и соответствующей ОЭД внутреннего облучения, обусловленной этим поступлением, $E_U(\tau \mid t_{j-1}, t_j)$.

40. Поступление соединения G радионуклида U в организм работника за период контроля, $\Pi_{U,d,G}(t_{j-1}, t_j)$, и соответствующая доза внутреннего облучения, $E_U(\tau \mid t_{j-1}, t_j)$, определяется путем решения уравнения (6) для i=1,...,j относительно $\pi_{U,d,G}(t)$ и определения $\Pi_{U,d,G}(t_{j-1}, t_j)$ и $E_U(\tau \mid t_{j-1}, t_j)$ по формулам:

$$\Pi_{U,d,G}(t_{j-1}, t_j) = \int_{t_{j-1}}^{t_j} \pi_{U,d,G}(t) dt \qquad (7)$$

$$E_U(\tau \mid t_{j-1}, t_j) = \sum_{d,G} \int_{t_{j-1}}^{t_j} e^{внутр}_{U,d,G}(\tau) \times \pi_{U,d,G}(t) dt = \sum_{d,G} e^{внутр}_{U,d,G}(\tau) \times \Pi_{U,d,G}(t_{j-1}, t_j) \qquad (8)$$

[18] См. п. 32 и п. 47.

41. Стандартная процедура расчета поступления $П_{U,d,G}(t_{j-1},t_j)$ и дозы $E_U(\tau|t_{j-1},t_j)$, рекомендуемая в ISO 27048-2011 [ISO, 2011], приведена в Приложении 2.

42. При поступлении нескольких радионуклидов соответствующая суммарная ОЭД внутреннего облучения, $E(\tau|t_{j-1},t_j)$, равна сумме ОЭД отдельных радионуклидов:

$$E(\tau|t_{j-1},t_j)=\sum_U E_U(\tau|t_{j-1},t_j) \quad (9)$$

43. Если при поступлении нескольких радионуклидов U методами ИДК невозможно определить значения $E_U(\tau|t_{j-1},t_j)$ для всех радионуклидов, то при расчете суммарной ОЭД внутреннего облучения следует использовать значение вклада измеряемого радионуклида (смеси радионуклидов) в суммарную ОЭД, полученное в соответствии с определенным[19] радионуклидным составом аэрозолей в рабочих помещениях (рабочих зонах) и временем пребывания работника в рабочих помещениях/зонах.

44. Поступление соединения G радионуклида U в организм работника за год равно сумме соответствующих поступлений за периоды контроля, относящиеся к данному календарному году. Если период контроля распространяется на два календарных года, то для обеспечения непрерывности учета облучения за такие периоды контроля учет поступления радионуклида за календарный год осуществляется в зависимости от организации ИДК – либо исходя из последнего измерения, проведенного в текущем календарном году, либо исходя из первого измерения, проведенного в следующем календарном году. В первом случае ОЭД оценивают за неполный календарный год, и ее значение увеличивают на величину, пропорциональную доле отрезка времени, оставшегося до конца календарного года; годовая ОЭД принимается равной полученному значению. Во втором случае каждому календарному году приписывается доля поступления за данный период контроля, пропорциональная его длительности в данном календарном году; годовая ОЭД принимается равной сумме ОЭД за соответствующие периоды контроля (или их частей), составляющих календарный год.

45. Дозовые коэффициенты $e^{вдых}_{U,d,G}(\tau)$ [ICRP-CD1, 2001], а также функции $\varphi_{U,d,G}(t_j-t)$ [ISO, 2011] для соединения радионуклида U, имеющего дисперсность d и относящегося к типу химического соединения при ингаляции G, которые используются для оценок ОЭД внутреннего облучения в рамках области действия данного документа, были рассчитаны с использованием разработанных для целей дозиметрии внутреннего облучения и рекомендованных МКРЗ биокинетических и дозиметрических моделей органов дыхания [ICRP-66, 1994], желудочно-кишечного тракта, костной ткани [ICRP-30(1), 1979] и биокинетики химических элементов в организме условного человека; при расчете дозовых коэффициентов использовались также значения коэффициентов качества ионизирующего излучения и взвешивающих коэффициентов для тканей и органов, рекомендованных в [ICRP, 60].[20]

46. Рекомендуются (на основании расчетов удержания/выведения, исходя из не более чем трехкратного превышения значения реальной ОЭД внутреннего облучения над его оцененным значением за счет неопределенности момента поступления радионуклида в организм работника [ISO, 2011]) следующие указанные в таблице 1 максимальные интервалы между измерениями для проведения текущей программы индивидуального дозиметрического контроля.

---

[19] См. п. 32.

[20] До выхода новых значений дозовых коэффициентов и принятия их в отечественной системе нормирования, рассчитанных на основе данных Публикации 103 МКРЗ, а также с использованием нового поколения биокинетических и дозиметрических моделей МКРЗ.

Допустимы отклонения реальных значений интервалов между измерениями (в пределах 365 дней) от значений, рекомендуемых в таблицах 1-3, если при этих значениях выполняются условия критерия достаточности, приведенные в п. 32.

Таблица 1 – Максимальные интервалы между измерениями (дни) при проведении текущей программы индивидуального дозиметрического контроля в зависимости от используемого метода измерения [ISO, 2011]

Радионуклид	Тип химического соединения при ингаляции	Измерения *in vitro*	Измерения *in vivo*	
		Объект измерения – моча	Объект измерения – все тело	Объект измерения – щитовидная железа
^{3}H	НТО	30	–	–
^{14}C	Органический	7	–	–
	Диоксид	180	–	–
^{32}P	Б	30	–	–
^{33}P	Б	30	–	–
^{35}S	Б	7	–	–
^{36}Cl	Б	30	–	–
^{51}Cr	Б	(15)	15	–
^{54}Mn	П	–	90	–
^{59}Fe	П	–	90	–
^{57}Co	М	(30)	180	–
^{58}Co	М	(90)	180	–
^{60}Co	М	(180)	180	–
^{63}Ni	П	15	–	–
^{75}Se	П	–	180	–
^{89}Sr	Б, М	30	–	–
^{90}Sr	Б, М	Б:30, М:180	–	–
^{110m}Ag	М	–	180	–
^{125}I	Б	(90)	–	90
^{131}I	Б	(15)	–	15
^{137}Cs	Б	(180)	180	–
^{226}Ra	П	180	–	–

Примечание. Если число дано в скобках, то это альтернатива значению из другого столбца, для случаев, когда невозможно провести измерения *in vivo*.

Таблица 2 – Максимальные интервалы между измерениями (дни) при проведении текущей программы дозиметрического контроля для соединений урана [ISO, 2011]

Соединение урана	Тип химического соединения при ингаляции	Анализы *in vitro*		Измерения *in vivo*
		Объект измерения – моча	Объект измерения – кал	Объект измерения – легкие
UF_6	Б	90	—	—
$UO_4 \cdot nH_2O$	Б	30	—	—
$UO_2(NO_3)_2$	Б	30	—	—
$(NH_4)_2U_2O_7$	Б	30	—	—
UF_4	П	90	180	180
UO_3	П	90	180	180
U_3O_8	П	90	180	180
UO_2	М	90	180	180
Примечание. Данные приведены с учетом как радиологической, так и химической токсичности соединений урана.				

Таблица 3 – Максимальные интервалы между измерениями (дни) при проведении текущей программы дозиметрического контроля для соединений актинидов (кроме урана) [ISO, 2011]

Радионуклид	Тип химического соединения при ингаляции	Анализы *in vitro*		Измерения *in vivo*
		Объект измерения – моча	Объект измерения – кал	Объект измерения – легкие
^{228}Th	М	—	180	—
^{232}Th	М	—	180	—
^{232}Th	П	—	180	—
^{237}Np	П	180	180	—
^{238}Pu	М	180	180	—
^{239}Pu	М	180	180	—
^{239}Pu	П	180	180	—
^{241}Am	П	180	180	180
^{244}Cm	П	180	180	—

Требования к метрологическому обеспечению дозиметрического контроля

47. Система ДК внутреннего облучения персонала включает в себя средства измерений (зарегистрированные в Государственном реестре средств измерений) характеристик радиационной обстановки и индивидуальных характеристик облучения работника и следующие нормативные и методические документы:

- Порядок дозиметрического контроля внутреннего облучения персонала (Порядок ДК);
- аттестованную методику (методики) измерений (МИ) с применением конкретных СИ и аттестованных смесей (источников) для контроля качества измерений;
- аттестованную методику (методики) выполнения расчетов (МВР) – методику интерпретации результатов этих измерений в величинах поступления и ОЭД внутреннего облучения.

48. Разработку и обоснование Порядка ДК на действующих радиационных объектах проводят специалисты (эксперты) в области дозиметрии внутреннего облучения по заданию СРБ радиационного объекта. Порядок ДК утверждает лицо, ответственное на предприятии за обеспечение радиационной безопасности, после согласования его с надзорными органами ФМБА России[21].

49. Методики измерений (МИ) и методики расчетов, предназначенные для дозиметрического контроля, оформляют как методики радиационного контроля (далее - МРК); МРК 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.

50. Службы предприятий и организаций, осуществляющие дозиметрический контроль внутреннего облучения персонала, должны быть аккредитованы в соответствии с требованиями ГОСТ 8.638-2013 и МИ 2453-2015.

51. Для контроля доз облучения персонала должны применяться средства измерений (СИ) утвержденного типа (прошедшие испытания и внесенные в Государственный реестр СИ) и периодически поверяемые в установленном порядке.

52. Определение доз облучения персонала проводится на основании результатов измерений физических величин (15), характеризующих воздействие ИИИ на работника. Результат определения значения дозы (искомой величины), полученной в течение периода контроля, характеризуется диапазоном значений $(E^{\min}; E^{\max})$[22], в котором с заданной вероятностью находится ее истинное значение.

Результат определения дозы должен содержать:

- значение искомой величины E (оцененное значение ОЭД внутреннего облучения), основанное на измерении и расчете по результатам измерения;
- оценку абсолютной (в единицах величины E) неопределенности $\breve{U}$ значения искомой величины, рассчитываемой как

$$\breve{U} = E^{\max} - E \qquad (10)$$

В документы по учету индивидуальной дозы облучения работника следует вносить измеренное или рассчитанное значение искомой величины Е.

Верхняя граница оценки ОЭД ($E^{\max}$) используется для принятия решений: о необходимости введения ИДК (см. п. 35) или о необходимости применения процедуры специального контроля (см. п. 26) и/или экспертной оценки ОЭД (см. далее в этом разделе). Оценка верхней границы ОЭД, $E^{\max}$, наряду со значением оценки ОЭД, E, и информацией об условиях облучения (п. 32) отражается в протоколах измерений.

53. При оценке неопределенности значения искомой величины, определяемой по результатам дозиметрического контроля, следует учитывать:

- неопределенности измерений, обусловленные погрешностями средств измерений;
- статистическую неопределенность измерений;
- неопределенность распространения результатов измерений или расчетов на нормируемый объект контроля (согласно п. 56 и п. 57).

---

[21] В случае необходимости, с учетом экспертного заключения специализированной лаборатории в системе учреждений ФМБА России.

[22] Обозначение $E^{\max}$ ($E^{\min}$) следует понимать как максимальное (минимальное) значение ОЭД при использовании упрощенного способа расчета и как верхнюю (нижнюю) границу оценки ОЭД, отражающую 95%-ную (5%-ную) вероятность непревышения $E^{\max}$ ($E^{\min}$) при использовании статистического способа расчета.

При оценке неопределенности значения искомой величины не следует учитывать неопределенности принятых в обоснование НРБ-99/2009 и используемых в радиационном контроле дозиметрических моделей и их параметров, характеризующих стандартного работника.

54. Требования к допустимым уровням неопределенности при определении индивидуальной дозы внутреннего облучения и представлению результата с учетом этой неопределенности выражаются формулой:

$$E(\tau)+\breve{U} \le E_{\alpha} \qquad (11)$$

где E_{α} – установленные пределы дозы для контролируемых условий облучения, $\breve{U}$ – оценка неопределенности значения индивидуальной дозы $E(\tau)$ согласно уравнению (10) п. 52.

При определении безусловной приемлемости неопределенности оценки дозы при текущем ИДК следует руководствоваться требованием НРБ-99/2009 о непревышении индивидуальной ОЭД работника 20 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 50 мЗв в год с достаточной степенью надежности, определяемой с учетом неопределенности результата определения ОЭД.

При планировании текущей программы ИДК внутреннего облучения, при разработке средств измерения и методик определения дозы обеспечение требования безусловной приемлемости неопределенности оценки дозы достигается путем выполнения неравенства (11) для значений $E_{\alpha}=E_1=У_Д \le 20$ мЗв в год при определении годовой ОЭД в среднем за любые последовательные 5 лет; $E_{\alpha}=E_2=$ $У_Д \le 50$ мЗв в год при определении ОЭД за отдельный календарный год.

При планировании повышенного облучения обеспечение требования безусловной приемлемости неопределенности оценки дозы достигается путем выполнения неравенства (11) для значений $E_{\alpha}=E_3=У_Д \le 100$ мЗв в год.

Выполнение неравенства (11) при указанных значениях E_{α} будет означать, что $E^{макс}=E(\tau)+\breve{U}$ гарантированно, с заданной степенью надежности, не превышает соответствующего предела дозы (20, 50 или 100 мЗв в год).

В случае превышения индивидуальной ОЭД работника предела дозы, с учетом неопределенности результата определения ОЭД, то есть если неравенство (11) не выполняется, проводят оценку дозы в рамках специального контроля (см. п. 26) или с привлечением экспертов[23], добиваясь максимального уменьшения неопределенности результата определения ОЭД с учетом реальных возможностей современных методов измерений.

При определении индивидуальной ОЭД работника по результатам ДКРМ обеспечение требования безусловной приемлемости неопределенности оценки дозы достигается путем выполнения неравенства (11) для значений $E_{\alpha}=E_4=У_{ВК}$. Если в этом случае неравенство (11) не выполняется, то значение индивидуальной ОЭД внутреннего облучения работника определяют путем проведения ИДК.

[23] Например, специализированные лаборатории в системе учреждений ФМБА России.

Требования к методикам измерений

55. Методики измерений разрабатываются в соответствии требованиями ГОСТ 8.638-2013 и МИ 2453-2015.

Требования к методикам расчетов

56. Методика расчетов предназначена для интерпретации результатов индивидуальных систематических измерений физических величин, характеризующих облучение работника, с целью определения значения и оценки абсолютной неопределенности величины ожидаемой эффективной дозы внутреннего облучения работника, обусловленной поступлением радионуклидов за календарный год и за период работы.

57. В методике расчета для определения значения искомой величины ожидаемой эффективной дозы работника на разных этапах ее оценки следует учитывать:

- случайный характер поступления радионуклида в органы дыхания и неопределенность момента поступления радионуклида за период контроля;
- представительность используемого метода измерения (пробоотбора);
- погрешность измерений индивидуальной характеристики облучения работника согласно МИ;
- вариабельность измеряемой (экспериментальной) биофизической величины относительно ожидаемых (расчетных) значений для стандартного работника (или фантома);
- величины активности радионуклида в теле человека или в его отдельных органах либо в биопробах, обусловленные поступлением радионуклида в организм работника в прошлом;
- неопределенность или вариабельность влияющих на биокинетику физико-химических характеристик радиоактивного материала, облучению которым может подвергаться работник, в частности:
    - распределение размеров аэрозольных частиц, характеризуемое медианным по активности аэродинамическим диаметром (АМАД) и геометрическим стандартным отклонением (σ_g);
    - характеристики растворимости радиоактивного материала, описываемые типом соединения при ингаляции (Б, П или М) или параметрами легочной модели, f_r, s_r, s_s, f_b и s_b [ICRP, 66],
    - коэффициент всасывания в желудочно-кишечном тракте (ЖКТ), f_A [ICRP, 78];
    - радионуклидный состав смеси.

58. Согласно требованиям п. 9 настоящих МУ все расчеты индивидуальных доз выполняются для математической модели стандартного работника, включающей модели МКРЗ, использованные при разработке НРБ-99/2009, и предназначенной для обеспечения стандартизованной основы для определения индивидуальной дозы профессионального внутреннего облучения. При этом при оценке неопределенности значения индивидуальной дозы внутреннего облучения не следует учитывать неопределенности принятых в обоснование НРБ-99/2009 и используемых в радиационном контроле дозиметрических моделей и их параметров, характеризующих дозовые коэффициенты стандартного работника.

59. Методика расчетов должна содержать описание алгоритма расчета поступления и ОЭД, а также оценку неопределенности их расчета с учетом факторов, перечисленных в п. 57. В методике расчетов должны быть указаны:

- используемые дозовые коэффициенты перехода от оценок поступления к оценкам ОЭД внутреннего облучения;

- используемые функции удержания радионуклида в теле человека или функции выведения радионуклида из тела человека с мочой или калом;
- используемые функции поступления радионуклида за период контроля;
- принятый алгоритм учета предыстории поступлений в период времени, предшествовавший введению в действие настоящих МУ и Порядка ДК.

60. Методика расчетов должна содержать стандартную процедуру расчета, приведенную в Приложении 2 в качестве обязательной процедуры расчета ОЭД. Методика расчетов может содержать другие процедуры расчета в качестве дополнительных процедур расчета ОЭД. При использовании статистического способа расчета ОЭД необходимо указывать информацию о плотности распределения используемых в расчете параметров модели, таких как момент поступления, АМАД, тип соединения при ингаляции и коэффициент всасывания. Для сравнения с нормируемой величиной (годовым пределом дозы) в этом случае следует использовать верхнюю границу оценки ОЭД, отражающую 95%-ную вероятность ее непревышения.

61. Для определения поступления и ОЭД используется стандартная процедура расчета. Допускается использование других процедур расчета, если они обоснованы и их применение утверждено в документе Порядок ДК.

Порядок дозиметрического контроля внутреннего облучения (типовые требования)

62. Порядок дозиметрического контроля является документом, действующим в пределах одного предприятия, устанавливающим порядок выполнения действий и процедур, результатом которых является решение задач ДК, перечисленных в п. 13.

63. Цель Порядка ДК заключается в организации системы контроля внутреннего облучения персонала для получения достоверной информации об индивидуальных дозах персонала и обеспечения выполнения требований НРБ-99/2009 в части определения степени соблюдения принципов радиационной безопасности и требований нормативов.

64. Порядок ДК предприятия *определяет и утверждает* следующие действия и процедуры, необходимые для выполнения задач ДК:

- инструкцию по организации (или график) регулярных измерений объемной активности аэрозолей техногенных радионуклидов в воздухе рабочих помещений (рабочих зон), с учетом выполнения требований к периодичности и чувствительности измерений;
- методику расчета значений индивидуальных ОЭД на рабочих местах по результатам регулярных измерений объемной активности радионуклидов в воздухе рабочих помещений (рабочих зон);
- условия облучения, характеризующие параметры модели[24], характерные для рабочих помещений (рабочих зон) данного предприятия;
- способы ограничения уровня облучения персонала по результатам прогностической оценки значений индивидуальных ОЭД внутреннего облучения работников предприятия с указанием значений контрольных уровней облучения;
- порядок определения групп работников, для которых необходимо проведение ИДК;
- инструкцию по организации (или график) регулярных измерений характеристик внутреннего облучения работников, с учетом выполнения требований к периодичности и чувствительности измерений;
- методику расчета значений индивидуальных ОЭД работников по результатам регулярных измерений характеристик внутреннего облучения работников;

[24] См. п. 31.

- способы сравнения значений индивидуальных ОЭД с установленными допустимыми уровнями с указанием соответствующих действий и мероприятий;
- перечень СИ и МИ, необходимых и достаточных для выполнения задач ДК.

Запись и хранение результатов измерений и определения дозы

65. Для каждого профессионального работника должна быть предусмотрена система записи результатов определения[25] ОЭД внутреннего облучения в карточке индивидуального учета или на магнитных носителях в целях создания базы данных ДК организации.

66. Поскольку при контроле внутреннего облучения значение ОЭД получается на основе инструментальных измерений, необходимо обязательно иметь базу данных этих первичных измерений, которая может быть также использована при пересчете значений дозы в случае изменений или уточнений параметров, используемых при ДК моделей. В этой базе данных должны быть отражены следующие параметры:

- входные данные о контролируемом работнике (Ф.И.О., табельный №, год рождения, место работы, краткая информация о характере выполняемой работы и т. п.);
- дата начала контроля (начала работы в условиях, требующих индивидуального дозиметрического контроля);
- дата отбора пробы и ее объем;
- дата и результат измерения за вычетом фоновой составляющей;
- использованная МВИ (метод анализа и измерения);
- использованная методика расчета (метод получения численных значений ОЭД внутреннего облучения);
- другие дополнительные сведения в соответствии с используемым методом контроля.

67. В системах учета (базах данных) результатов ДК отражаются сведения о величинах годовой эффективной дозы, годовой эффективной дозы, усредненной за 5 последовательных лет, а также дозы, полученной за весь период работы, с указанием используемых методик расчета. Отдельно регистрируются дозы, получаемые при нормальной эксплуатации источников излучения, при планируемом повышенном облучении и обусловленные возникновением нестандартных условий облучения и радиационных аварий.

68. Сроки хранения индивидуальных записей об облучении работника устанавливаются в соответствии с требованиями Основных санитарных правил обеспечения радиационной безопасности ОСПОРБ-99/2010.

Библиография

[Кутьков, 2007]. Величины в радиационной защите и безопасности // АНРИ. 2007. – № 3. – С. 2-25.

[Молоканов, 2010]. Молоканов А.А. Современная методология контроля доз внутреннего облучения персонала. // АНРИ. 2011. – № 4. – С. 2-18.

[МУ 2.6.1.16-2000]. Определение индивидуальных эффективных и эквивалентных доз и организация контроля профессионального облучения в контролируемых условиях

[25] В качестве индивидуальной ОЭД работника записывается значение ОЭД. Верхняя граница ОЭД ($E^{PM}_{\max}$, п. 35 или $E^{\max}$, п. 54) используется для принятия решений:

- в рамках ДКРМ - о необходимости введения ИДК (см. п. 35);
- в рамках ИДК – о достаточности текущего контроля или о необходимости применения специального контроля (см. п. 54).

обращения с источниками излучения. Общие требования. Методические указания МУ 2.6.1.16-2000. – В сб.: Методическое обеспечение радиационного контроля на предприятии. Т. 1. – М.: Министерство Российской Федерации по атомной энергии, Министерство здравоохранения Российской Федерации, Федеральное управление медико-биологических и экстремальных проблем, 2001. – С. 23-54.

[МУ 2.6.1.26-2000]. Дозиметрический контроль профессионального внутреннего облучения. Общие требования. Методические указания МУ 2.6.1.26-2000. – В сб.: Методическое обеспечение радиационного контроля на предприятии. Т. 1. – М.: Министерство Российской Федерации по атомной энергии, Министерство здравоохранения Российской Федерации, Федеральное управление медико-биологических и экстремальных проблем, 2001. – С. 111-155.

[НРБ-99/2009]. СанПиН 2.6.1.2523-09. Нормы радиационной безопасности НРБ-99/2009: Санитарные правила и нормативы.

[ОСПОРБ 99/2010]. СП 2.6.1.2612-10 «Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ 99/2010)»: Санитарные правила и нормативы.

[GUM, 1995] Guide to the Expression of Uncertainty in Measurements (GUM), International Organisation for Standardisation (ISO), Geneva, Switzerland (1995).

[ICRP-30(1), 1979]. Limits for Intakes of Radionuclides by Workers, ICRP Publication 30, Part 1. Ann. ICRP 2 (3/4), 1979, Pergamon Press, Oxford. (Пределы поступления радионуклидов для работающих с ионизирующим излучением. Публикация 30 МКРЗ. Часть 1. М. Энергоатомиздат, 1982).

[ICRP-66, 1994]. Human Respiratory Tract Model for Radiological Protection, ICRP Publication 66. Ann. ICRP 24 (1/3), 1994.

[ICRP-78, 1998] Individual Monitoring for Internal Exposure of Workers. Replacement of ICRP Publication 54. ICRP Publication 78. Ann. ICRP 28(1), 1998.

[ICRP-CD1, 2001] The ICRP Database of Dose Coefficients: Workers and Members of the Public. – ICRP CD 1, 2001.

[ISO, 2006]. ISO 20553:2006, Radiation protection - Monitoring of workers occupationally exposed to a risk of internal contamination with radioactive material.

[ISO, 2010a]. ISO 28218:2010. Radiation protection - Performance criteria for radiobioassay.

[ISO, 2010б]. ISO 11929:2010. Determination of the characteristic limits (decision threshold, detection limit and limits of the confidence interval) for measurements of ionizing radiation – Fundamentals and application.

[ISO, 2011]. ISO 27048:2011. Radiation protection - Dose assessment for the monitoring of workers for internal radiation exposure.

Приложение 1. Критические значения (M_C) измеряемых величин при проведении текущего дозиметрического контроля, соответствующие значению ОЭД, равному 0,1 мЗв

Таблица П1-1. Критические значения для биофизического исследования мочи

Радионуклид	Тип химического соединения при ингаляции	Максимальный период между измерениями активности в моче, сутки	Критические значения, соответствующие ОЭД 0,1 мЗв, Бк/СКМ
^{3}H	НТО	30	4000 **
^{14}C	органический диоксид	7 180	10 300
^{32}P	Б	30	10**
^{33}P	Б	30	100**
^{35}S	Б	7	20
^{63}Ni	П	15	3
^{89}Sr	Б	30	10
	М	30	5 E-2
^{90}Sr	Б	30	1
	М	180	3 E-3
^{226}Ra	П	180	1 E-4
Уран*** (естественный) UF_4	Б	90	1 E-2
Уран*** (естественный) $UO_4 \cdot nH_2O$, $UO_2(NO_3)_2$, $(NH_4)_2U_2O_7$	Б	30	2 E-2
Уран (естественный) UF_4, UO_3	П	90	3 E-3
Уран (естественный) UO_2, U_3O_8	М	90	2 E-5
^{237}Np	П	180	1 E-4
^{238}Pu	М	180	7 E-7
^{239}Pu	М	180	1 E-6
^{239}Pu	П	180	1 E-5
^{241}Am	П	180	3 E-5
^{244}Cm	П	180	3 E-5

Примечание. Для некоторых нуклидов фактический предел обнаружения не соответствует требованиям стандарта ISO 20553:2006. Численные данные для таких нуклидов представлены для определения адекватности проводимого дозиметрического контроля.

** Приведено в Бк/л.

*** На основе биокинетических данных, опубликованных в (Stradling N., Hodgson A., Ansorbolo E. and Berard P. *Industrial Uranium compounds exposure limits, assessment of intake and toxicity after inhalation*. NRPB report W22 (2002).

Таблица П1-2. Критические значения для биофизического исследования кала

Радионуклид	Тип химического соединения при ингаляции	Максимальный период между измерениями активности в пробе кала, (сутки)	Критические значения, соответствующие ОЭД 0,1 мЗв, (Бк/СКК)
Уран (естественный) UF_4, UO_3	П	180	2 Е-3
Уран (естественный) UO_2, U_3O_8	М	180	9 Е-4
^{228}Th	М	180	2 Е-4
^{232}Th	М	180	5 Е-4
^{232}Th	П	180	2 Е-4
^{237}Np	П	180	7 Е-2
^{238}Pu	М	180	5 Е-4
^{239}Pu	М	180	7 Е-4
^{239}Pu	П	180	1 Е-4
^{241}Am	П	180	2 Е-4
^{244}Cm	П	180	4 Е-4
Для некоторых нуклидов фактический предел обнаружения не соответствует требованиям стандарта ISO 20553:2006. Численные данные для таких нуклидов представлены для определения адекватности проводимого дозиметрического контроля.			

Таблица П1-3. Критические значения для измерения активности всего тела

Радионуклид	Тип химического соединения при ингаляции	Максимальный период между измерениями активности всего тела, сутки	Критические значения, соответствующие 0,1 мЗв, Бк
^{51}Cr	Б	15	20000
^{54}Mn	П	90	1000
^{59}Fe	П	90	400
^{57}Co	М	180	2000
^{58}Co	М	180	500
^{60}Co	М	180	100
^{75}Se	П	180	4000
^{110m}Ag	М	180	200
^{137}Cs	Б	180	2000
Критические значения для измерения активности в легких при проведении текущего дозиметрического контроля, соответствующие значению ОЭД, равному 0,1 мЗв.			
Уран (^{235}U) тетрафторид, триоксид	П	180	0,6
Уран (^{235}U) диоксид, закись-окись	М	180	0,3
^{241}Am	П	180	0,04

Таблица П1-4. Критические значения для измерения активности в щитовидной железе

Радионуклид	Тип химического соединения при ингаляции	Максимальный период между измерениями активности в ЩЖ, сутки	Критические значения, соответствующие 0,1 мЗв, Бк
^{125}I	Б	90	200
^{131}I	Б	15	30

Приложение 2. Стандартная процедура расчета поступления и ОЭД

Стандартная процедура расчета поступления и ОЭД как для *текущего,* так и для *специального* контроля имеет одинаковый алгоритм, за исключением нескольких различий, рассмотренных далее, и состоит в последовательном выполнении следующих 8 шагов:

1. На первом шаге определяют, к какому классу относится данное измерение. Измерение, проведенное для *текущего* контроля, должно соответствовать требованиям периодичности проведения измерений в соответствии с таблицами 1-3 п. 46. Если измерение не удовлетворяет данным требованиям, оно рассматривается как измерение, проведенное для *специального* контроля.

2. На втором шаге оценивают значимость измеренного значения, которое определяется из условия одновременного превышения порога измерения[26] и критического значения M_C (таблицы П1-1 - П1-4). Если одно из условий не выполняется, то измерение документируется без последующей оценки дозы. Если измерение признано значимым, то перед тем, как перейти к шагу 3, проводят оценку вклада предыдущих поступлений в измеренное значение.

   Вклад предыдущих поступлений в измеренное значение рассчитывают, используя уравнение:

$$P = \sum_i I_i \times m(t_m - t_i) \qquad \text{(П2-1)}$$

   где
   P – активность радионуклида (в Бк), которая должна быть в измеряемом объекте (*in vitro* или *in vivo*) в соответствии с поступлениями, документированными ранее;
   i – индекс события, связанного с ранее документированным поступлением;
   I_i – все ранее документированные поступления (в Бк);
   t_i – момент времени (однократного) поступления;
   t_m – время (дата) измерения (отбора пробы);
   $m(t)$ – функция удержания или выведения (Бк/Бк поступления, Бк/сутки / Бк поступления и т. п.).

   Проверку значимости вклада предыдущих поступлений проводят с использованием коэффициента рассеяния (*scattering factor*), K_{SF}, который представляет собой геометрическое стандартное отклонение логнормального распределения значений измеряемой величины. Коэффициент рассеяния характеризует вариабельность реальной величины, например, коэффициента выведения радионуклида с мочой, относительно среднего значения этой величины, используемой в модели. Неопределенность измеряемой величины, связанную с этой вариабельностью, относят к типу Б, в отличие от статистической неопределенности измерения, которую относят к типу А [GUM, 1995]. Рекомендуемые значения K_{SF} приводятся в таблицах П3-1 и П3-2, Приложение 3. Оценку значимости вклада предыдущих поступлений, P, проводят следующим образом.

   Если измеренное значение, M, находится в интервале

$$\frac{P}{K_{SF}^2} \le M \le K_{SF}^2 \times P\,, \qquad \text{(П2-2)}$$

[26] См. п. 31.

то это означает, что нет статистически значимого вклада нового поступления. В этом случае достаточно записать измеренное значение без дальнейшей оценки дозы.

Если измеренное значение, M, удовлетворяет неравенству

$$M \le \frac{P}{K_{SF}^2}, \qquad \text{(П2-3)}$$

то это указывает на несоответствие предыдущих оценок и измеренного значения. В этом случае необходимо подтверждение надежности предыдущих оценок и результата текущего измерения путем его повторения. Если предыдущие оценки не могут быть подтверждены, то решение об учете их вклада в текущее измерение решается экспертным путем с использованием процедуры, описанной в п. 7.

Если измеренное значение, M, удовлетворяет неравенству

$$M > K_{SF}^2 \times P, \qquad \text{(П2-4)}$$

то измеренное значение является следствием еще не учтенного поступления. В этом случае текущее измерение может быть интерпретировано с помощью *стандартной процедуры* оценки дозы, описываемой на шаге 3.

3. На третьем шаге проводят стандартную процедуру оценки дозы, основанную на следующих предположениях:

   – поступление произошло однократно в середине интервала между предыдущим и текущим измерениями;

   – поступление произошло путем ингаляции аэрозоля с АМАД=5 мкм;

   – тип соединения при ингаляции, функции удержания и выведения такие, которые определены в п. 46 с параметрами, принятыми по умолчанию.

   В качестве альтернативы могут быть использованы известные значения перечисленных выше параметров, характерные для данного предприятия, если показано, что эти параметры характерны для того процесса, в котором задействован работник, и этот факт отражен в Порядке ДК (пп. 62-64).

   Для расчета поступления за текущий период контроля и соответствующей ожидаемой эффективной дозы необходимо использовать уравнения (П2-5) и (П2-6):

$$I = \frac{M'}{m\left(\Delta T / 2\right)} \qquad \text{(П2-5)}$$

$$E(50) = e(50) \times I \qquad \text{(П2-6)}$$

   где

   - M' – либо измеренное значение M, либо (M–P), если вклад, P, от предыдущих поступлений был рассчитан и признан значимым;
   - $E(50)$ - ожидаемая эффективная доза, Зв;
   - $e(50)$ - дозовый коэффициент, Зв/Бк;
   - I – поступление, Бк.

   Для случая поступления смеси радионуклидов, когда значения M' получены для каждого радионуклида, уравнения (П2-5) и (П2-6) используют для каждого нуклида

напрямую, и значения $E(50)$ для каждого нуклида суммируются перед тем, как перейти к шагу 4. Если значение $M_a^{'}$ для одного радионуклида используется не только для определения $E_a(50)$ этого радионуклида, но также для определения ожидаемой эффективной дозы от поступления другого радионуклида $E_b(50)$, то это может быть сделано путем умножения $E_a(50)$ на произведение $\frac{I_b}{I_a}$ и $\frac{e_b(50)}{e_a(50)}$.

Отношение $\frac{I_b}{I_a}$ может быть определено из радионуклидного состава смеси, находящейся в составе аэрозоля, поступившего в организм работника. Значения $E(50)$ для каждого радионуклида должны быть просуммированы перед тем, как перейти к шагу 4.

4. На четвертом шаге проводят проверку критерия принятия стандартной оценки дозы без проведения дальнейшего анализа:

$$n \times K_{SR}^2 \times E(50) \le 0{,}05 \times E_\alpha , \qquad \text{(П2-7)}$$

где

- n – число периодов контроля в год ($n = \frac{365}{\Delta T}$);
- E_α – годовой предел дозы[27].

В случае выполнения критерия (П2-7) рассчитанные по формулам (П2-5) и (П2-6) поступление и дозу документируют, и это значение дозы используют для определения формального соответствия пределу дозы.
Если контролируется более чем один радионуклид, то в уравнении (П2-7) используют сумму их вкладов в ожидаемую эффективную дозу за период контроля.

5. На пятом шаге проводят анализ результата измерения с точки зрения стабильности условий облучения, если критерий в п. 4 не выполняется.

Неожиданно большое значение результата измерения по сравнению с предыдущими результатами измерений данного работника и/или других работников со схожими условиями облучения могут указывать на отклонение от нормальных условий работы, которые предполагаются при планировании программы контроля.
Для такого анализа рекомендуется установить количественный критерий для идентификации таких случаев отклонения от нормальных условий облучения, когда принятые в п. 3 предположения могут не действовать и требуется проведение дополнительного исследования (измерения).

6. На шестом шаге проводят сравнение с пределом дозы.

Эту процедуру проводят в том случае, когда рассчитанная в соответствии с уравнениями (П2-5) и (П2-6) доза превышает 5% предела дозы (то есть условие в уравнении (П2-7) не выполняется) и нет признаков нарушения нормальных условий работы (в соответствии с п. 5). Этот шаг состоит в проведении проверки на ***возможность превышения*** годового предела дозы.

---

[27] $E_\alpha = E_2 =$ $У_Д \le 50$ мЗв в год (при определении ОЭД за отдельный календарный год согласно п. 54); значение $У_Д$ указывается в Порядке ДК.

Данная проверка имеет своей целью принятие решения о том, что оцениваемая доза с большой степенью надежности не превышает предела дозы и дальнейшая процедура уточнения оценки дозы не требуется. Для этого принимают во внимание неопределенность параметров (в соответствии с п. 57).

Для сравнения следует выбирать те значения указанных параметров модели из их возможного диапазона, при которых формируется максимальное значение дозы. При этом если информации достаточно, чтобы характеризовать значения параметра в виде плотности распределения вероятности, то в качестве верхней границы диапазона значений параметра используют 95%-ную границу доверительного интервала. Это также относится и к определению верхней границы или максимального значения результата измерения.

Если полученное максимальное значение годовой дозы не превышает предела дозы в соответствии с уравнением (11) п. 54, то рассчитанные по формулам (П2-5) и (П2-6) оценки поступления и дозы за рассматриваемый период контроля документируют вместе со всей информацией, которая была использована для расчета. Эту *оценку* дозы используют для формального сравнения с пределом дозы.

Если полученное максимальное значение годовой дозы превышает предел дозы, то требуется дальнейший анализ специфической для данного случая информации, процедура которого представлена на следующем шаге 7.

7. Шаг 7 выполняют, если предел дозы превышен согласно п. 6. На этом шаге проводят анализ следующей специфической для рассматриваемого случая информации, цель которой – уменьшение неопределенности оценки дозы:

   - вклад в M всех проанализированных и задокументированных предыдущих поступлений, которые должны быть вычтены из M (если это не было сделано ранее);

   - дополнительная информация по скорости поступления за период контроля, например определение момента острого поступления, отличающегося от принятого в середине интервала (по данным контроля загрязнения воздуха), или обоснование применения модели хронического поступления;

   - значения АМАД, отличающиеся от принятого значения;

   - тип соединения при ингаляции или значения соответствующих параметров транспортабельности аэрозоля, отличающиеся от значений, принятых для максимальной оценки дозы;

   - учет других путей поступления, кроме ингаляционного, например, пероральный или перкутанный пути поступления;

   - результаты контроля загрязнения воздуха производственных помещений.

   Используемая информация и данные должны быть обоснованы. Другие значения параметров модели ограничены тем перечнем значений параметров по умолчанию и соответствующих им функций удержания и выведения и дозовых коэффициентов, который приведен в Публикациях МКРЗ. Возможно также использование значений параметров, отличных от значений по умолчанию, если они прошли утверждение в соответствующей организации и совместимы с моделями МКРЗ.

8. На восьмом шаге проводят повторное сравнение рассчитанных с учетом выполнения п. 7 оценок дозы с годовым пределом дозы. Это сравнение выполняют аналогично процедуре, описанной в п. 6.

Если такое сравнение показывает, что и в этом случае годовой предел дозы может быть превышен, то принимают решение о необходимости применения более сложного статистического расчета или привлечения экспертов и проведения дополнительных измерений для уточнения индивидуальных функций удержания и выведения (и/или значений физико-химических параметров радиоактивного материала).
Процедура *интерпретации результатов* индивидуальных измерений, проведенных в рамках *специального контроля* или отнесенных к нему (в соответствии с п. 1), как было отмечено выше, имеет тот же алгоритм, что и для текущих измерений, за исключением нескольких различий, обусловленных следующими обстоятельствами:

- критические значения, M_C, используемые в п. 2 не применимы, так как при их расчете использованы стандартные значения периодов контроля (соответствующие таблицам 1-3 § 46);

- в случае специального контроля, последовавшего в результате предполагаемого или действительного события, выходящего за рамки нормального, имеется априорная информация о вероятном моменте поступления радионуклида в организм человека.

Соответственно, различия в алгоритме расчета дозы при специальном контроле следующие:

- если поступление через рану или кожу или влияние процедур декорпорации (введение препаратов, ускоряющих выведение радионуклида из организма) не может быть исключено, то оценка дозы может потребовать более сложного анализа, который выходит за рамки стандартной процедуры;

- проверка значимости измеренного значения (п. 2) не включает сравнения с критическим значением, M_C;

- расчет дозы не должен быть основан на предположении однократного поступления в середине периода контроля; в данном случае должна быть использована имеющаяся априорная информация о вероятном моменте поступления и других необходимых параметрах;

- уменьшение неопределенности оценки дозы на основе анализа специфической для рассматриваемого случая информации в данном случае используется изначально и выполнение п. 7 не требуется.

Приложение 3 (информационное). Типичные значения коэффициента K_{SF}

Таблица П3-1 – Значения коэффициента K_{SF} для разных типов измерений (биопроб), полученные по результатам исследований [ISO, 2011]

Тип измерения (биопробы)	Значение коэффициента K_{SF} для описания неопределенности типа Б
Полная, 24-часовая проба мочи	1,1
Концентрация трития в моче	1,1
Имитированная (расчетная) 24-часовая проба мочи, нормализованная по креатинину	1,7
Проба мочи за неполные сутки	2,0
Проба кала за 24 часа	3
Проба кала за 72 часа	1,9

Таблица П3-2 – Типичные значения компонентов коэффициента K_{SF} и его суммарное значение для измерений активности гамма-излучающих радионуклидов в теле человека в зависимости от диапазона энергии фотонов [ISO, 2011]

Источник неопределенности типа Б	E <20 кэВ	20 кэВ < E < 100 кэВ	E > 100 кэВ
Вариации позиции детектора	1,2	1,05	<1,05
Вариации сигнала фона	1,5	1,1	<1,05
Вариации размеров тела	1,5	1,12	1,07
Вариации защиты	1,3	1,15	1,12
Вариация распределения активности	1,3	1,05	<1,05
Калибровка	1,05	1,05	1,05
Оценка спектра с использованием HPGe детектора	1,15	1,05	1,03
Суммарная неопределенность типа Б*	2,06	1,25	1,15

*Суммарная неопределенность типа Б рассчитана по формуле:

$$K_{SF} = \exp\left[\sqrt{\sum \ln^2(K_{SF_i})}\right]$$

где K_{SF_i} – значение коэффициента K_{SF} для компонента неопределенности *i*.

Приложение 4 (информационное). Способы определения порогов измерений $L_C^{ДКРМ}$ и $L_C^{ИДК}$

А. Порог измерения объемной активности аэрозолей техногенного радионуклида U в воздухе рабочих помещений, $L_C^{ДКРМ}$, определяют с целью обоснования достаточности чувствительности методики измерения (МИ), выбранной для осуществления дозиметрического контроля рабочих мест (ДКРМ).

Значение порога измерения, $L_C^{ДКРМ}$, определяют, используя критерий достаточности, приведенный в п. 31, исходя из уравнения:

$$E_{1-\alpha}^{ДКРМ}(L_C^{ДКРМ}, \Delta L_C^{ДКРМ}) = 0{,}2 \times У_{ВК} \qquad (П4\text{-}1)$$

Расчетное значение верхней границы доверительного интервала годовой ОЭД, соответствующее результату измерения объемной активности аэрозолей техногенного радионуклида U, равному $L_C^{ДКРМ}$ с погрешностью, равной $\Delta L_C^{ДКРМ}$, можно определить, используя приближенное соотношение (с учетом α=0,05):

$$E_{0,95}^{ДКРМ}(L_C^{ДКРМ}, \Delta L_C^{ДКРМ}) \approx 2{,}4 \times 10^3 \times e_{U,d,G}^{внутр} \times \frac{L_C^{ДКРМ} + L_C^{ДКРМ}}{f_U^E} = 0{,}2 \times У_{ВК} \qquad (П4\text{-}2)$$

или

$$L_C^{ДКРМ} = \frac{0{,}2 \times У_{ВК} \times f_U^E}{2 \times 2{,}4 \times 10^3 \times e_{U,d,G}^{внутр}} \qquad (П4\text{-}3)$$

где

- $E_{0,95}^{ДКРМ}(L_C^{ДКРМ}, \Delta L_C^{ДКРМ})$ – расчетное значение верхней границы доверительного интервала годовой ОЭД[28], мЗв в год;
- $L_C^{ДКРМ}$ – порог измерения объемной активности аэрозолей техногенного радионуклида U с дисперсностью d и типом химического соединения при ингаляции G, Бк/м^3;
- $У_{ВК}$ – уровень введения ИДК, мЗв в год;
- f_U^E – вклад радионуклида U с дисперсностью d и типом химического соединения при ингаляции G в суммарную ожидаемую эффективную дозу, отн. ед.;
- $e(\tau)_{U,d,G}^{внутр}$ – дозовый коэффициент для персонала при ингаляционном поступлении аэрозолей радионуклида U с дисперсностью d и типом химического соединения при ингаляции G, мЗв/Бк;
- $2{,}4 \times 10^3$ - значение объема вдыхаемого воздуха за год для персонала согласно НРБ-99/2009, п. 8.2, м^3/год.

Если измеряют объемную активность смеси техногенных радионуклидов (например, смеси радионуклидов урана), то

$$L_C^{ДКРМ} = \frac{0{,}2 \times У_{ВК} \times f_\Sigma^E}{2 \times 2{,}4 \times 10^3 \times e_\Sigma} \qquad (П4\text{-}4)$$

---

[28] Если результат измерения величины объемной активности аэрозолей (ОА) равен $L_C^{ДКРМ}$, то справедливо утверждение: $OA_{0,95} = OA + 1{,}645 \times \sigma(OA)$. Так как $\sigma(OA) \cong \sigma(0)$, то $OA_{0,95} = OA + 1{,}645 \times \sigma(OA) \cong OA + 1{,}645 \times \sigma(0) = OA + L_C$ (см. определение L_C в п. 31). Если $OA = L_C$, то с достаточной для практики точностью $OA_{0,95} = L_C + L_C$.

где

- e_{Σ} – дозовый коэффициент для персонала при ингаляционном поступлении аэрозолей смеси радионуклидов, мЗв/Бк;
- f_{Σ}^{E} – вклад смеси радионуклидов в суммарную ожидаемую эффективную дозу, отн. ед.

Дозовый коэффициент при ингаляционном поступлении аэрозолей смеси радионуклидов U, рассчитывают по формуле:

$$e_{\Sigma} = \sum_{G} P_G \times \sum_{i} N_i \times e_{i,G,d_G} \qquad (П4\text{-}5)$$

где

- P_G – относительное содержание в смеси химических соединений радионуклидов, принадлежащих к типу соединения при ингаляции G, %;
- N_i – относительное содержание в смеси i-го радионуклида к общей активности смеси радионуклидов, %;
- e_{i,G,d_G} – дозовый коэффициент i-го радионуклида для персонала, определяемый для типа соединения при ингаляции G, характеризуемой дисперсностью d_G.

Расчетные значения $L_C^{ДКРМ}$ для некоторых радионуклидов, представлены в таблице П4-1.

Таблица П4-1 – Значения $L_C^{ДКРМ}$ для измерения объемной активности аэрозолей техногенного радионуклида U (при АМАД=1 мкм и монофакторном воздействии, то есть при f_U^E=1,0 или f_{Σ}^E=1,0)

Радионуклид	Тип соединения при ингаляции	$L_C^{ДКРМ}$, Бк/м^3 ($У_{ВК}$ = 5 мЗв в год)	$L_C^{ДКРМ}$, Бк/м^3 ($У_{ВК}$ = 125 мг в год)*
Pu-239	М	1,4E-02	
	П	4,4E-03	
Уран	Б	4,0E-01	1,3E-01
(естественный)	П	7,3E-02	1,3E-01
	М	2,6E-02	1,3E-01
	МП(80/20)	3,0E-02	1,3E-01
U-238	Б	4,3E-01	6,5E-02
	П	8,0E-02	6,5E-02
	М	2,9E-02	6,5E-02

*Рассчитано для учета химической токсичности урана

Примечание. Порог измерения (или порог принятия решения – decision threshold) – это фиксированное значение, L_C, измеряемой величины, количественно выражающей физический эффект, при превышении которого принимается решение, что измерение действительно отражает данный эффект. Значение L_C отражает физическую возможность измерения заданной величины (объемной активности). Если в методике измерения объемной активности в качестве нижнего диапазона измерения указана другая величина, то для определения соответствия данному требованию указанное в таблице П4-1 значение $L_C^{ДКРМ}$ нужно умножить на соответствующий коэффициент k. Если указано значение МДА (или предел детектирования - Detection Limit), то k=2. Если указано значение нижнего порога измерений (НПИ), то значение k зависит от того, как определен нижний порог измерений. Если, например, при значении НПИ относительная неопределенность результата измерения равна 50%, то $k \geq 2$, если относительная неопределенность результата измерения равна 30%, то $k \geq 5$.

Б. *Порог измерения активности техногенного радионуклида U (или суммы техногенных радионуклидов) либо в теле человека, либо в биологических образцах,* $L_C^{\text{ИДК}}$*, определяют с целью обоснования достаточности методики измерения (МИ), выбранной для осуществления ИДК*

Значение порога измерения, $L_C^{\text{ИДК}}$, определяют, исходя из критерия достаточности, приведенного в п. 31. Критерий достаточности ИДК будет выполнен, если при значении измеряемой величины, равном *порогу измерения* $L_C^{\text{ИДК}}$, верхняя граница оценки дозы (с учетом неопределенности результата измерения), $E_{0,95}^{ИДК}(L_C^{ИДК}, \Delta L_C^{ИДК})$[29], не превысит предела дозы *ПД* (в этом случае будет обеспечен принцип нормирования) или не превысит уровень действия[30], $У_Д \le ПД$ (в этом случае возможно выполнение принципа оптимизации):

$$E_{1-\alpha}^{ИДК}(L_C^{ИДК}, \Delta L_C^{ИДК}) = У_Д \qquad \text{(П4-6)}$$

Расчетное значение верхней границы доверительного интервала годовой ОЭД, соответствующее результату измерения активности техногенного радионуклида U в теле человека или в биологических образцах, равному $L_C^{\text{ИДК}}$ с погрешностью, равной $\Delta L_C^{\text{ИДК}}$, при хроническом ингаляционном поступлении можно определить, используя приближенное соотношение (с учетом α=0,05):

$$E_{0,95}^{ИДК}(L_C^{ИДК}, \Delta L_C^{ИДК}) = \frac{(L_C^{ИДК} + L_C^{ИДК}) \times K_{SF}^{1,645}}{m_{U,d,G}(T)} \times \frac{e(\tau)_{U,d,G}}{f_U^E} \times \frac{365}{T} = У_Д \qquad \text{(П4-7)}$$

или

$$L_C^{ИДК} = \frac{У_Д \times f_U^E}{2 \times e(\tau)_{U,d,G}} \times \frac{m_{U,d,G}(T)}{K_{SF}^{1,645}} \times \frac{T}{365} \qquad \text{(П4-8)}$$

где

- $E_{0,95}^{ИДК}(L_C^{ИДК}, \Delta L_C^{ИДК})$ – расчетное значение верхней границы доверительного интервала годовой ОЭД[31], мЗв в год;
- $У_Д$ – уровень действия, мЗв в год;
- f_U^E – вклад радионуклида U в суммарную эффективную дозу, отн. ед.;
- $e(\tau)_{U,d,G}$ (мЗв/Бк) и $m_{U,d,G}(T)$ (Бк/Бк) – дозовый коэффициент и функция удержания или выведения при ингаляционном поступлении аэрозолей радионуклида U с дисперсностью d и типом химического соединения при ингаляции G;

---

[29] Отметим, что $E_{0,95}^{ИДК}(L_C^{ИДК}, \Delta L_C^{ИДК}) \neq E(L_C^{ИДК} + \Delta L_C^{ИДК})$, так как при расчете дозы учитывают не только неопределенность результата измерения, но и неопределенность других факторов (параметров модели расчета), используемых при интерпретации измерений.

[30] *Уровень действия* устанавливают на уровне, меньшем предела дозы ($У_Д \le ПД$), с целью оптимизации защиты персонала от облучения.

[31] Если результат измерения активности техногенного радионуклида U в теле человека или в биологических образцах (А) равен $L_C^{\text{ИДК}}$, то справедливо утверждение:

$A_{0,95} = A + 1{,}645 \times \sigma(A)$. Так как $\sigma(A) \cong \sigma(0)$, то

$A_{0,95} = A + 1{,}645 \times \sigma(A) \cong A + 1{,}645 \times \sigma(0) = A + L_C$ (см. определение L_C в п. 31). Если $A = L_C$, то с достаточной для практики точностью $A_{0,95} = L_C + L_C$.

- K_{SF} – коэффициент рассеяния (Приложение 3), степень 1,645 отражает верхнее значение коэффициента K_{SF}, соответствующее доверительной вероятности $1-2\times\alpha$ =0,9, при α=0,05;
- T – период контроля, сутки;
- $L_C^{\text{ИДК}}$ – порог измерения активности техногенного радионуклида в теле человека или в биологических образцах, Бк (Бк/орган, Бк/сутки).

Расчетные значения $L_C^{\text{ИДК}}$ для некоторых радионуклидов, представлены в таблице П4-2.

Таблица П4-2 – Значения[32] $L_C^{\text{ИДК}}$ для биофизического исследования мочи при ингаляционном поступлении аэрозолей радионуклидов (АМАД=5 мкм) и монофакторном воздействии (f_U^E =1,0)

Радионуклид	Тип соединения при ингаляции	T, сут	K_{SF}	$L_C^{\text{ИДК}}$, Бк/сут ($У_Д$=20 мЗв в год)	$L_C^{\text{ИДК}}$, Бк/сут ($У_Д$=500 мг/год) **	E***, мЗв (M=Lc)
Pu-239	М	180	2	3,0E-05		3,2
	М	365	2	6,5E-05		3,4
	М	365	1,49*	1,1E-04		5,5
	П	365	2	3,9E-04		2,3
	П	180	2	2,7E-04		2,4
Уран (естественный)	Б	90	2	1,6E-01	6,0E-02	0,4
	Б	180	2	8,0E-02	3,1E-02	0,3
	Б	365	2	2,9E-02	1,1E-02	0,2
	П	90	2	5,1E-02	6,0E-02	1,9
	П	180	2	5,5E-02	6,5E-02	1,7
	П	365	2	3,7E-02	4,3E-02	1,1
	М	90	2	5,4E-04	2,1E-03	2,3
	М	180	2	8,3E-04	3,3E-03	2,5
	М	365	2	1,3E-03	5,3E-03	2,5
	МП(80/20)****	90	2	4,0E-03	1,4E-02	2,0
	МП(80/20)	180	2	4,6E-03	1,6E-02	1,8
	МП(80/20)	365	2	3,8E-03	1,3E-02	1,3
U-238	Б	90	2	1,6E-01	2,9E-02	0,2
	Б	180	2	8,0E-02	1,5E-02	0,2
	Б	365	2	2,9E-02	5,5E-03	0,1

*Значение коэффициента K_{SF} для трех суточных проб, взятых без перерыва на работу $\left(K_{SF}(N=3)=\left(K_{SF}(N=1)\right)^{\frac{1}{\sqrt{N}}}\right)$.

**Рассчитано для учета химической токсичности урана.

***Значение оценки ОЭД, полученной по стандартной методике (Приложение 2) для результата измерения M=L_C (для соединений урана выбрано минимальное значение L_C из двух, рассчитанных для $У_Д$=20 мЗв в год и $У_Д$=500 мг/год).

****Смесь соединений М (80%) и П (20%).

[32] См. примечание на стр. 37 к таблице П4-1.

Приложение 5 (информационное). Способы определения и рекомендуемые значения коэффициентов $\delta_k^{защ}$ и $\delta_k^{зд}$

Коэффициенты $\delta_k^{защ}$ и $\delta_k^{зд}$ устанавливают взаимосвязь между величиной средней годовой объемной активности радионуклида в помещении (на *k*-м рабочем месте), измеренной в точке, отличной от зоны дыхания работника, $Q_k^{помещ}$, и величиной объемной активности, измеренной в зоне дыхания работника, $Q_k^{зд}$, во время его пребывания на *k*-м рабочем месте:

$$Q_k^{зд} = Q_k^{помещ} \times \delta_k^{защ} \times \delta_k^{зд} \ . \qquad (П5\text{-}1)$$

Для расчета поступления радионуклидов в организм работника и соответствующей ОЭД используют средние за год значения коэффициентов $\delta_k^{защ}$ и $\delta_k^{зд}$, которые либо определяют на основании результатов экспериментальных исследований[33], либо устанавливают экспертным путем на основании опыта проведения подобных исследований.

На этапе внедрения методики расчета ОЭД при проведении ДКРМ диапазон возможных значений коэффициентов $\delta_k^{защ}$ и $\delta_k^{зд}$ устанавливают экспертным путем. По мере накопления экспериментальных данных проводят корректировку установленных значений.

При установлении возможного диапазона средних значений $\delta_k^{зд}$ экспертным путем для ингаляционного поступления радиоактивных аэрозолей необходимо учитывать два фактора:

- возможное неравномерное распределение значений $Q_k^{помещ}$ по объему помещения, связанное с наличием локальных источников радиоактивного аэрозоля (источников пыления), возникающих в момент проведения работы, и удаленность точки отбора от зоны дыхания;
- разное время усреднения объемной активности, происходящее за время нахождения работника в рабочей зоне (за время проведения производственных операций) и за время отбора пробы аэрозоля при контроле.

Коэффициент $\delta_k^{зд}$ вводится для отражения (и регулирования) эффективности контроля загрязнения воздуха в рабочем помещении с точки зрения оценки поступления радиоактивных аэрозолей в организм работника.

Разумно предположить, что средние значения $\delta_k^{зд}$ распределены по нормальному закону с параметрами $(X_{СР},\ \sigma)=(\delta_k^{зд},\ \sigma_k^{зд})$. Для определения значений $\delta_k^{зд}$ и $\sigma_k^{зд}$ (для *k*-го рабочего места) можно использовать таблицу П5-1.

---

[33] Экспериментальные исследования $\delta_k^{зд}$ включают измерения соотношения $Q_k^{помещ}$ и $Q_k^{зд}$ при нахождении работника на *k*-м рабочем месте во время проведения производственных операций. Экспериментальные исследования $\delta_k^{защ}$ включают измерения реальной эффективности СИЗ ОД по результатам измерений $Q_k^{зд}$ и оценки реального поступления радионуклидов в организм работника. Оценку реального поступления радионуклидов проводят по данным индивидуальных измерений работника в рамках специального контроля.

Таблица П5-1 – Рекомендуемые диапазоны значений коэффициента $\delta_k^{зд}$ и относительной неопределенности его оценки $\omega_\delta = 1{,}96 \times \sigma_k^{зд} / \delta_k^{зд}$ в зависимости от типа распределения объемной активности (*ОА*) радионуклидов в рабочей зоне и способа измерения *ОА*

№	Тип распределения *ОА*	Способ измерения *ОА*		$\delta_k^{зд}$	ω_δ
		По времени	По пространству		
1	Равномерное по площади и по времени	Любой	Одна точка (несколько точек) контроля	1,1	0,06
2	Неравномерное по площади, равномерное по времени	Любой	Одна точка контроля	1,4 – 2*	0,15
			Несколько точек контроля	1,1 – 1,4*	0,06 – 0,15*
3	Неравномерное по площади и по времени	Соответствует продолжительности работ (операционный контроль)	Одна точка контроля в зоне дыхания работника	1,1	0,06
		Среднесменный контроль	Одна точка контроля	5 – 30*	0,5
			Несколько точек контроля	2 – 5*	0,15 - 0,3*

*Выбор конкретных значений $\overline{\kappa}_j^{зд}$ и δ_{kj} зависит от степени неравномерности распределения значений ОА радионуклидов в помещении и количества точек контроля. При отсутствии данных выбирают максимальные значения из указанного диапазона.

Аналогично предполагается, что средние значения $\delta_k^{защ}$ распределены по нормальному закону с параметрами ($X_{ср}$, σ)=($\delta_k^{защ}$, $\sigma_k^{защ}$). Для определения значений $\delta_k^{защ}$ и $\sigma_k^{защ}$ можно использовать таблицу П5-2.

Таблица П5-2 – Рекомендуемые диапазоны значений $\delta_k^{защ}$ и $\sigma_k^{защ}$

Использование СИЗ ОД	$\delta_k^{защ}$	$\sigma_k^{защ}$
0 (без защиты)	1	0
1 (СИЗ ОД «Лепесток»)	0,05 – 0,1*	0,023 – 0,04*

*Выбор конкретных значений $\delta_k^{защ}$ и $\sigma_k^{защ}$ зависит от наличия данных по исследованию реальных значений коэффициента эффективности СИЗ ОД. При отсутствии данных выбирают максимальные значения.

Приложение 6. Глоссарий

Аэрозоль – дисперсная система с газообразной средой и с твердой, жидкой или смешанной дисперсной фазой.

Аэрозоль радиоактивный – аэрозоль, в дисперсную фазу которого входят радионуклиды /ГОСТ 15484/.

Диаметр активностный медианный аэродинамический (АМАД) – такое значение аэродинамического диаметра частиц дисперсной фазы радиоактивного аэрозоля, при котором 50% активности указанного аэрозоля приходится на частицы, имеющие диаметр меньше, чем АМАД, а 50% - на частицы, имеющие аэродинамический диаметр больше, чем АМАД (применяется при АМАД>0,5 мкм).

Диаметр активностный медианный термодинамический (АМТД) – такое значение термодинамического диаметра частиц дисперсной фазы радиоактивного аэрозоля, при котором 50 % активности данного аэрозоля приходится на частицы, имеющие диаметр меньше, чем АМТД, и 50 % - на частицы, имеющие термодинамический диаметр больше, чем АМТД (применяется для характеристики дисперсности взамен АМАД при АМАД<0,5 мкм).

Диаметр частицы аэрозоля аэродинамический – диаметр частицы с плотностью, равной 1 г/см^3, имеющей ту же скорость осаждения в воздухе при нормальных условиях, что и у данной частицы.

Диаметр частицы аэрозоля термодинамический – диаметр частицы с плотностью, равной 1 г/см^3, имеющей тот же коэффициент диффузии в воздухе при нормальных условиях, что и у данной частицы.

Величина операционная – величина, однозначно определяемая через физические характеристики поля излучения в точке или через физико-химические характеристики аэрозоля в точке, максимально возможно приближенная в стандартных условиях облучения к величине, нормируемой в целях ограничения облучения, и предназначенная для консервативной оценки этой величины при дозиметрическом контроле.

Доза индивидуальная эффективная (*эквивалентная в органе или ткани*) – эффективная доза (эквивалентная доза в органе или ткани), которая была бы получена стандартным работником, если бы он находился в тех же производственных условиях и выполнял те же работы с источником, что и данный индивид. Значение индивидуальной дозы приписывается индивиду по результатам дозиметрического контроля.

Доза эквивалентная в органе или ткани (*эквивалентная доза*) ($H_{T,R}$) – поглощенная доза в органе или ткани, умноженная на соответствующий взвешивающий коэффициент для данного вида излучения, W_R:

$$H_{T,R} = W_R \times D_{T,R} \qquad \text{(П6-1)}$$

где $D_{T,R}$ - средняя поглощенная доза в органе или ткани T излучения R, а W_R - взвешивающий коэффициент для излучения R[34]. При воздействии различных видов излучения с различными взвешивающими коэффициентами эквивалентная доза определяется как сумма эквивалентных доз для этих видов излучения:

$$H_T = \sum_R H_{T,R} \qquad \text{(П6-2)}$$

Единицей эквивалентной дозы является зиверт (Зв).

Доза эффективная (Е) – величина, используемая как мера риска возникновения отдаленных последствий облучения всего тела человека и отдельных его органов и

тканей с учетом их радиочувствительности. Она представляет собой сумму произведений эквивалентной дозы в органах и тканях на соответствующие взвешивающие коэффициенты:

$$E = \sum_T W_T \times H_T \qquad \text{(П6-3)}$$

где H_T - эквивалентная доза в органе или ткани T, а W_T – взвешивающий коэффициент для органа или ткани T. Единица эффективной дозы - зиверт (Зв).

Доза эквивалентная ожидаемая при внутреннем облучении ($H_T(\tau)$) – доза за время τ, прошедшее после поступления радиоактивных веществ в организм:

$$H_T(\tau) = \int_{t_0}^{t_0+\tau} H_T(t)dt \qquad \text{(П6-4)}$$

где t_0 – момент поступления, а $H_T(t)$ – мощность эквивалентной дозы к моменту времени t в органе или ткани T. Значение τ следует принять равным 50 годам для взрослых и (70-t_0) - для детей (лиц моложе 20 лет). Единица ожидаемой эквивалентной дозы – зиверт (Зв).

Доза эффективная ожидаемая при внутреннем облучении (ОЭД, $E(\tau)$) – величина, используемая как мера риска возникновения отдаленных последствий облучения всего тела человека и отдельных его органов и тканей с учетом их радиочувствительности. Она представляет собой сумму произведений ожидаемой эквивалентной дозы в органах и тканях на соответствующие взвешивающие коэффициенты:

$$E(\tau) = \sum_T W_T \times H_T(\tau) \qquad \text{(П6-5)}$$

Единица ожидаемой эффективной дозы – зиверт (Зв).

Источник излучения техногенный – источник ионизирующего излучения, специально созданный для его полезного применения или являющийся побочным продуктом этой деятельности.

Источник радионуклидный открытый – источник излучения, при использовании которого возможно поступление содержащихся в нем радионуклидов в окружающую среду.

Контроль радиационный – получение информации о радиационной обстановке в организации, в окружающей среде и об уровнях облучения людей (включает в себя дозиметрический и радиометрический контроль).

Контроль дозиметрический групповой (ДКРМ) – контроль облучения персонала, заключающийся в определении индивидуальных доз облучения работников на основании результатов измерений характеристик радиационной обстановки в рабочем помещении (на рабочих местах) с учетом времени пребывания там персонала.

Контроль дозиметрический индивидуальный (ИДК) – контроль облучения персонала, заключающийся в определении индивидуальных доз облучения работника на основании результатов индивидуальных измерений характеристик облучения тела или отдельных органов каждого работника либо индивидуального поступления радионуклидов в организм каждого работника.

Место рабочее – место постоянного или временного пребывания персонала для выполнения производственных функций в условиях воздействия ионизирующего излучения в течение более половины рабочего времени или двух часов непрерывно.

Облучение внутреннее – облучение органов и тканей человека в результате поступления радионуклидов в организм человека.

Облучение профессиональное – облучение персонала в процессе его работы с техногенными источниками ионизирующего излучения.

Период контроля - промежуток времени между последовательными измерениями характеристик радиационной обстановки в рабочем помещении (на рабочих местах) при проведении ДКРМ либо между последовательными индивидуальными измерениями характеристик облучения каждого работника при проведении ИДК.

Порог измерения (порог принятия решения - decision threshold) – это фиксированное значение, L_C, измеряемой величины, количественно выражающей физический эффект, при превышении которого принимается решение, что измерение действительно отражает данный эффект. Порог измерения определяют таким образом, чтобы при превышении результата измерения значения L_C вероятность того, что истинное значение измеряемой величины равно нулю, было бы меньше или равно заданному значению α (обычно α задают равным 0,05).

Поступление радионуклида (*ингаляционное*) – активность радионуклида, проникшего в организм человека через органы дыхания вместе с воздухом.

Работник стандартный – воображаемый человек, обладающий биологическими и физическими свойствами, присущими среднестатистическому здоровому взрослому человеку. Свойства стандартного работника включают:

- антропометрические характеристики тела, отдельных органов и тканей человека;
- характеристики физиологических показателей человека;
- параметры биокинетики химических элементов в органах и тканях человека, рекомендованные МКРЗ и использованные при определении значений допустимых уровней облучения, установленных в НРБ-99/2009.

Рабочее место (для данного работника) – перечень рабочих помещений (рабочих зон) с указанием (доли) времени пребывания в них данного работника, определяемого исходя из его производственных обязанностей в течение календарного года.

Спектрометр (*счетчик*) *излучения человека* (СИЧ) - спектрометрическая или радиометрическая установка, предназначенная для идентификации и определения активности γ-излучающих радионуклидов, находящихся в отдельном органе или во всем теле человека.

Тип химического соединения при ингаляции – характеристика дисперсной фазы радиоактивного аэрозоля в классификации по скорости перехода радионуклида из легких в кровь, установленной в дозиметрической модели органов дыхания МКРЗ:

- тип «М» (медленно растворимые соединения): при растворении в легких веществ, отнесенных к этому типу, наблюдается компонента активности радионуклида, поступающая в кровь со скоростью 0,0001 $сут^{-1}$;
- тип «П» (соединения, растворимые с промежуточной скоростью): при растворении в легких веществ, отнесенных к этому типу, основная активность радионуклида поступает в кровь со скоростью 0,005 $сут^{-1}$;
- тип «Б» (быстро растворимые соединения): при растворении в легких веществ, отнесенных к этому типу, основная активность радионуклида поступает в кровь со скоростью 100 $сут^{-1}$.

Уровень контрольный – значение контролируемой величины дозы, мощности дозы, радиоактивного загрязнения и т.д., устанавливаемое для оперативного радиационного контрол[redacted] с целью закрепления достигнутого уровня радиационной безопасности, обеспечения дальнейшего снижения облучения персонала и населения, радиоактивного загрязнения окружающей среды.

Уровень введения индивидуального дозиметрического контроля ($У_{ВК}$) – такое значение годовой эффективной дозы или эквивалентной дозы облучения органа, при действительном или предполагаемом превышении которого определение

соответствующих доз следует проводить с помощью индивидуального дозиметрического контроля облучения работника.

Уровень действия ($У_Д$) – такое значение дозы, при действительном или предполагаемом превышении которого следует провести мероприятия по улучшению радиационной обстановки на рабочем месте.

Условия облучения стандартные – определенные в Нормах для целей нормирования техногенного облучения условия воздействия техногенных источников на человека, которые характеризуются следующими параметрами:

- объемом вдыхаемого воздуха, с которым радионуклид может поступить в органы дыхания персонала группы А на протяжении календарного года: $V_{перс} = 2{,}4 \times 10^3 м^3$;
- временем облучения t в течение календарного года, равным 1700 *ч* для персонала группы А и 2000 *ч* - для персонала группы Б;
- классификацией дисперсной фазы радиоактивного аэрозоля по скорости перехода радионуклида из легких в кровь согласно п. 8.3 НРБ-99/2009. Распределение химических соединений элементов по типам при ингаляции в производственных условиях приведено в приложении П-3 к НРБ-99/2009;
- логарифмически нормальным распределением активности по размерам частиц дисперсной фазы аэрозоля с АМАД, равным 1 мкм, и стандартным геометрическим отклонением, равным 2,5.

Условия облучения реальные - условия воздействия техногенных источников на человека, которые характеризуются фактически действующими значениями объема вдыхаемого воздуха, времени облучения в течение календарного года и физико-химическими характеристиками аэрозолей (дисперсность и растворимость при ингаляции), отличающимися от указанных в НРБ-99/2009.

Условия обращения с источником излучения контролируемые - условия обращения с источником ионизирующего излучения, при которых облучение персонала источником находится под контролем и управляемо. К контролируемым условиям относятся нормальные условия эксплуатации источников излучения и условия планируемого повышенного облучения.

Хроническое (внутреннее) облучение – облучение, обусловленное регулярным (ежесменным) поступлением радионуклидов в организм работника в результате постоянного загрязнения воздуха рабочих помещений, средний уровень которого определяют в процессе дозиметрического контроля рабочих мест.

Частица аэрозоля – твердый, жидкий или смешанный (многофазный) объект, находящийся во взвешенном состоянии в газообразной среде.

Приложение 7. Список исполнителей

ДОЗИМЕТРИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ВНУТРЕННЕГО ОБЛУЧЕНИЯ. ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ.

Методические указания

Руководитель работы:
к.т.н., с.н.с. О.А. Кочетков, ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России

Исполнители:
к.т.н. Ю.В. Абрамов, ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России,
к.т.н. С.Ю. Антропов, ООО «НТЦ Амплитуда»,
к.б.н. В.В. Востротин, ФГУП ЮУрИБФ ФМБА России,
к.ф.-м.н. В.А. Кутьков, Российский научный центр «Курчатовский институт»,
к.б.н. Б.А. Кухта, ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России,
к.т.н. А.А. Молоканов, ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России,
к.т.н. Н.П. Поцяпун, ФМБА России,
д.т.н. Ю.С. Степанов, ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России.