

А.В. Симаков, Ю.В. Абрамов, Н.Л. Проскурякова, О.В. Исаев, Т.М. Алферова

МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К УСТАНОВЛЕНИЮ КОНТРОЛЬНЫХ УРОВНЕЙ ПАРАМЕТРОВ РАДИАЦИОННОЙ ОБСТАНОВКИ И ДОЗ ОБЛУЧЕНИЯ ПЕРСОНАЛА

Федеральный медицинско-биофизический центр им. А.И. Бурназяна ФМБА России, Москва

Контактное лицо: Абрамов Юрий Викторович: abramov-1948@yandex.ru

РЕФЕРАТ

Цель: Обоснование методических подходов при установлении контрольных уровней (КУ) параметров радиационной обстановки на рабочих местах персонала и доз облучения.

Результаты: Представлены методические подходы к установлению следующих видов КУ:

- максимально возможные КУ, устанавливаемые из условия гарантированного не превышения допустимых значений параметров радиационной обстановки и пределов доз облучения;
- КУ, устанавливаемые из условия закрепления достигнутых значений параметров радиационной обстановки на уровне ниже допустимых значений;
- КУ, превышающие допустимые значения параметров радиационной обстановки и устанавливаемые в тех случаях, когда время радиационного воздействия мало, а снижение существующих уровней связано со значительными трудо- и дозозатратами.

Нормативные документы системы санитарно-эпидемиологического нормирования требуют установления на радиационных объектах КУ для всех контролируемых параметров с целью оперативного контроля за радиационной обстановкой, предотвращения превышения основных пределов доз персонала и населения, закрепления достигнутого уровня радиационной безопасности и обеспечения дальнейшего снижения уровней облучения персонала и населения. При этом интерпретация результатов радиационного контроля должна осуществляться с учётом неопределённости результата измерения параметров радиационной обстановки и доз облучения.

Ключевые слова: *контрольный уровень, предел дозы, персонал, неопределённость результатов измерения*

Для цитирования: Симаков А.В., Абрамов Ю.В., Проскурякова Н.Л., Исаев О.В., Алферова Т.М. Методические подходы к установлению контрольных уровней параметров радиационной обстановки и доз облучения персонала. Медицинская радиология и радиационная безопасность. 2021;66(1):20-24

DOI: 10.12737/1024-6177-2021-66-1-20-24

Введение

Контроль радиационной обстановки на предприятии проводится в целях подтверждения соблюдения норм и правил радиационной безопасности, а также оценки воздействия радиационных факторов на персонал и население [1 – 3].

Действующие нормативные документы по организации радиационного контроля в организациях, проводящих работы с техногенными источниками излучения, требуют установления контрольных уровней (КУ) значений радиационных параметров [1, 2]. При установлении КУ следует исходить из принципа оптимизации с учётом:

- неравномерности радиационного воздействия во времени;
- целесообразности сохранения уже достигнутого уровня радиационного воздействия на данном объекте ниже допустимого;
- эффективности мероприятий по улучшению радиационной обстановки.

Перечень и числовые значения КУ устанавливаются администрацией радиационного объекта в соответствии с условиями работы и согласовываются с органами исполнительной власти, уполномоченными осуществлять федеральный государственный санитарно-эпидемиологический надзор.

Результаты радиационного контроля подлежат сравнению с установленными значениями КУ. В случае выявления превышений установленных значений КУ ситуация должна анализироваться администрацией объекта, и причины, вызвавшие такие превышения, должны устраняться.

В реальных производственных условиях для решения задач управления радиационной безопасностью персонала [4] и оперативного контроля за радиационной обстановкой на радиационных объектах могут устанавливаться следующие виды КУ:

- максимально возможные КУ, устанавливаемые из условия гарантированного не превышения допустимых значений параметров радиационной обстановки и пределов доз облучения;
- КУ, устанавливаемые из условия закрепления достигнутых значений параметров радиационной обстановки на уровне ниже допустимых значений;
- КУ, превышающие допустимые значения параметров радиационной обстановки, могут устанавливаться в тех случаях, когда время радиационного воздействия мало, а снижение существующих уровней связано со значительными трудо- и дозозатратами.

Установление максимально возможных КУ Учёт неопределённости

Современные документы по организации системы радиационного контроля требуют учёта неопределённости результата измерения при интерпретации полученных результатов контроля.

То же относится и к процедуре установления КУ. В частности, МУ 2.6.5.028-2016 [5] в п. 8.1.2. требуют: «При установлении контрольных уровней учитывается... возможная погрешность методов контроля». Такое требование представляется совершенно логичным, поскольку обеспечивает не превышение установленных допустимых значений параметров радиационной обстановки и дозовых пределов.

Максимально возможные значения КУ следует устанавливать на срок не более 2 лет для следующих радиационных объектов (РО) или их отдельных технологических участков:

- введенных в эксплуатацию новых РО;
- после перепрофилирования РО, их реконструкции

и/или переходе на новые технологии и на сырьё с другими радиационными характеристиками;

- РО на период эксплуатации после имевших место радиационных аварий и ликвидации их последствий.

Общее требование учёта неопределённости измерения действующего радиационного фактора можно записать следующим образом:

$$КУ_F + U \leq ДУ_F, \quad (1)$$

где $КУ_F$ – максимальное значение контрольного уровня для радиационного фактора F ; U – неопределённость измерения значения радиационного фактора F ; $ДУ_F$ – допустимое значение этого фактора.

Та же формула может быть записана в следующем виде (2):

$$КУ_F \leq ДУ_F / (1 + \theta), \quad (2)$$

где $КУ_F$ – максимальное значение контрольного уровня для радиационного фактора F ; θ – относительная неопределённость измерения значения радиационного фактора F , равная $U/KУ_F$; $ДУ_F$ – допустимое значение этого фактора.

В радиационном контроле неопределённость измерений оценивается как интервал вокруг измеренного значения величины, внутри которого с заданной вероятностью 0,95 находится действительное значение измеряемой величины.

Допустимые значения для основных действующих радиационных факторов приведены в [1]. Основная проблема при принятии значений $КУ$ связана с оценкой неопределённости данных радиационного контроля.

Неопределённость результатов контроля обусловлена:

- вероятностным характером радиоактивного распада;
- собственной погрешностью средства измерения;
- зависимостью чувствительности средства измерения от энергии и угла падения излучения на детектор измерителя;
- отличием внешних условий измерения от установленных нормальных: температуры окружающей среды, давления, внешнего электромагнитного поля и др.

Дополнительную неопределённость вносит процедура учёта существующего радиационного фона.

Целью установления максимально возможных значений $КУ$ является гарантированное непревышение основных дозовых пределов [5]. Поэтому установление $КУ$ для индивидуальных доз персонала является первым этапом при разработке на предприятии системы $КУ$. Основные дозовые пределы установлены в НРБ-99/2009, выдержка из табл. 3.1. НРБ-99/2009 [1] приведена в табл. 1.

Эффективная доза включает в себя дозу внешнего облучения (главным образом за счёт гамма- и нейтронного излучения) и ожидаемую эффективную дозу внутреннего облучения, обусловленную поступлением радионуклидов в организм.

Индивидуальная доза внешнего облучения персонала группы А за счёт гамма-излучения контролируется с помощью индивидуальных дозиметров [2]. Требования к организации этого вида контроля и характеристикам приборов изложены в соответствующих методических указаниях [5, 6]. Неопределённость результата измерения обусловлена характеристиками использованного дозиметра. В большинстве случаев максимальную суммарную относительную неопределённость измерения амбиентного эквивалента дозы внешнего гамма-излучения $H_R(10)$ можно оценить величиной 30 %.

При использовании индивидуальных нейтронных дозиметров относительная неопределённость показаний также определяется характеристиками приборов, и для большинства имеющихся дозиметров может быть консервативно оценена величиной 50 %. Поэтому максимальный $КУ$ для среднегодовой эффективной дозы внешнего облучения только нейтронным излучением составляет $20 \text{ мЗв} / 1,5 = 13,3 \text{ мЗв}$.

Ожидаемая эффективная доза внутреннего облучения определяется расчётным методом по данным измерений содержания радионуклидов в организме с использованием спектрометров излучения человека (СИЧ), результатам биофизического контроля активности выделений (биофизический контроль) или по данным дозиметрического контроля рабочих мест (ДКРМ) – результатам систематических измерений объёмной активности радионуклидов в воздухе рабочих мест. Расчёт ожидаемой эффективной дозы проводится с учётом свойств радионуклидов, воздействующих на персонал.

Неопределённость расчёта ожидаемой эффективной дозы внутреннего облучения по данным СИЧ или по результатам биофизического контроля определяется характеристиками приборов и изложена в текстах применяемых методик.

В неопределённость результатов расчёта ожидаемой эффективной дозы внутреннего облучения методом ДКРМ входят неопределённость оценки среднегодовой объёмной активности (ОА) радионуклидов в воздухе рабочей зоны, а также неопределённость оценки времени работы в условиях данной ОА [7].

Помимо эффективной дозы, контролю подлежат и годовые эквивалентные дозы облучения кожи, хрусталика глаза, кистей и стоп. Соотношения контрольных уровней и установленных пределов доз будут зависеть от характеристик (неопределённостей) используемых

Таблица 1

Основные пределы доз для персонала группы А*
Basic dose limits for personnel of group A*

Нормируемые величины	Пределы доз
Эффективная доза	20 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 50 мЗв в год
Эквивалентная доза за год: в хрусталике глаза в коже в кистях и стопах	150 мЗв 500 мЗв 500 мЗв

*Примечание: Основные пределы доз, как и все остальные допустимые уровни воздействия персонала группы Б, равны 1/4 значений для персонала группы А.

методов контроля. В настоящее время для определения эквивалентных доз облучения указанных органов и тканей применяются индивидуальные дозиметры, в технических характеристиках которых приведена неопределённость измерения U . При установлении максимальных значений КУ для годовых эквивалентных доз облучения кожи и хрусталика глаза должно выполняться требование (1).

Объекты радиационного контроля

Контроль радиационной обстановки в зависимости от типа производства может включать контроль следующих параметров:

- мощность амбиентного эквивалента дозы внешнего излучения;
- объёмная активность радионуклидов в воздушной среде;
- плотность потока ионизирующих частиц;
- загрязнённость поверхностей радиоактивными веществами;
- и др.

Мощность амбиентного эквивалента дозы и плотность потока частиц измеряются прямым методом с помощью дозиметрических и радиометрических приборов, в технических характеристиках которых приводится относительная неопределённость измерений, для большинства приборов не превышающая 0,3.

При контроле загрязнения поверхностей радиоактивными веществами различают снимаемую, неснимаемую и общую загрязнённость.

Для контроля радиоактивного загрязнения используют прямой и косвенный методы. Прямой метод – определение уровня общего загрязнения поверхности путем измерения активности радионуклидов (плотности потока альфа- или бета-частиц) непосредственно на рабочей поверхности с использованием приборов (приборный метод). Косвенный метод – определение уровня снимаемого загрязнения путем снятия мазков и последующего определения их активности (метод мазков).

Приборный разностный метод является разновидностью прямого метода контроля и проводится в три этапа: определение уровня общего загрязнения поверхности, удаление снимаемого загрязнения с помощью мазков, определение уровня неснимаемого загрязнения; разность между результатами первого и второго измерения характеризует значение снимаемого загрязнения.

Снимаемая загрязнённость поверхностей, как правило, измеряется методом мазков, который основан на определении активности радиоактивного вещества, снятого с контролируемой поверхности контактным путем на сорбент [8]. Суммарная неопределённость измерения при использовании этого метода контроля включает в себя неопределённость приборного измерения активности подготовленной пробы, неопределённость коэффициента снятия мазка и неопределённость оценки площади снятия мазка. Если относительную неопределённость приборного измерения достаточно точно можно оценить по приведённым характеристикам используемого радиометра (как правило, не более 0,3), неопределённость оценки площади снятия мазка может быть сведена к пренебрежимо малым значениям (например, при использовании трафаретов, ограничивающих площадь снятия мазка), то для оценки неопределённости коэффициента снятия мазка требуется проведение значительного количества дополнительных исследований. Консервативно оценить относительную неопределённость используемого коэффициента снятия мазка можно величиной 0,5. В этом случае суммарная от-

носительная неопределённость оценки снимаемой загрязнённости будет равна 0,6, и максимальный $KU_{загр}$ для снимаемой загрязнённости поверхности должен удовлетворять условию (3):

$$KU_{загр} \leq 0,6 \cdot DU_{загр} . \quad (3)$$

Общая загрязнённость (а также неснимаемая загрязнённость) измеряется прямым методом с помощью радиометров, в технических характеристиках которых приводится относительная неопределённость измерений, для большинства приборов не превышающая 0,3.

Значение DU для мощности амбиентного эквивалента дозы внешнего излучения не установлено действующими нормами. Для этого фактора радиационного воздействия при установлении КУ в качестве допустимых уровней можно использовать данные табл. 3.3.1 ОСПОРБ-99/2010 [2], где приведена мощность эквивалентной дозы внешнего облучения, используемая при проектировании защиты от внешнего ионизирующего излучения: 6 мкЗв/ч для помещений постоянного пребывания персонала группы А и 12 мкЗв/ч для помещений временного пребывания. Измерение мощности амбиентного эквивалента дозы проводится приборным методом с использованием различных дозиметров радиометров, в технических характеристиках которых приводится неопределённость измерения. Максимальный КУ для мощности амбиентного эквивалента дозы внешнего излучения должен соответствовать формуле (1).

Установление КУ из условия закрепления достигнутых значений параметров радиационной обстановки на уровне ниже допустимых значений

Для действующих РО с устоявшейся технологией значения КУ радиационных факторов следует устанавливать с учётом уже достигнутого уровня. В этом случае основным этапом обоснования КУ для конкретного РО является сбор, обобщение и статистический анализ фактических данных о радиационной обстановке и дозах облучения за предшествующий период контроля (год или ряд лет). При этом из анализа следует исключить все повышенные данные, полученные при нарушении нормального технологического процесса.

На практике при большом числе данных плотность частотного распределения значений измеряемой величины Q можно представить в виде логнормального закона, характеризуемого медианным значением Q_{med} и стандартным геометрическим отклонением σ_g . Значение σ_g показывает, во сколько раз может отличаться значение измеряемой величины в течение периода контроля от медианного значения. Так, например величину $\sigma_g^2 \cdot Q_{med}$ превысят 2,5 % данных. Установив значение КУ равным $\sigma_g^2 \cdot Q_{med}$, можно ожидать, что при сохранении радиационной обстановки на существующем уровне, данное значение КУ превысят 2,5 % от числа зарегистрированных значений, и такое число случаев превышения КУ потребует принятия мер по рассмотрению причин, приведших к появлению повышенных значений. При установлении КУ на уровне $\sigma_g^3 \cdot Q_{med}$ можно ожидать появление повышенных значений только в 0,1 % случаев. При таком способе установления КУ необходимо также соблюдение требования по формуле (1).

Для реализации принципа оптимизации КУ должны быть установлены настолько низкими, насколько это практически возможно с учетом экономических и социальных факторов. Минимально возможные значения КУ целесообразно устанавливать исходя из достижения доз облучения персонала на уровне пренебрежимо малого риска.

Установление КУ, превышающих допустимые значения

Все вышеприведённые рассуждения и методы установления КУ справедливы для условий стабильной работы в определенных условиях в течение всего рабочего года. Но установление КУ параметров радиационной обстановки возможно и для конкретных радиационно-опасных работ (например, выполнение ремонтных работ в необслуживаемых помещениях или аварийно-восстановительные работы). Если продолжительность выполнения работы в течение года достаточно мала, то даже при превышении допустимой величины мощности амбиентного эквивалента дозы или при превышении значения допустимой ОА итоговая эффективная доза может не превысить основного предела дозы. Данное обстоятельство позволяет устанавливать значение КУ в отдельных точках или при проведении отдельных операций выше допустимых значений, установленных для случая постоянной работы в течение года. При этом обязательным условием является непревышение основных дозовых пределов. Повышенные по сравнению с допустимыми уровнями значения КУ параметров радиационной обстановки должны быть тщательно обоснованы расчетами, подтверждающими, что:

- установление КУ, превышающих допустимые значения, не приведет к превышению пределов доз облучения;
- проведение мероприятий по «нормализации» радиационной обстановки приведет к большим дозозатратам, чем выполнение работ в условиях действия повышенных КУ.

Для персонала группы Б значения устанавливаемых КУ равны $\frac{1}{4}$ от значений для соответствующего персонала группы А.

Заключение

Среди комплекса мероприятий по обеспечению радиационной безопасности и реализации принципа оптимизации важное место принадлежит установлению КУ параметров радиационной обстановки и доз облучения персонала.

В реальных производственных условиях для оперативного контроля за радиационной обстановкой на радиационных объектах могут устанавливаться следующие виды КУ:

- максимально возможные КУ;
- КУ, устанавливаемые для закрепления достигнутого уровня радиационной безопасности на радиационном объекте;
- КУ, превышающие допустимые значения.

При установлении контрольных уровней необходимо учитывать возможную погрешность методов контроля, что гарантированно обеспечивает непревышение установленных допустимых значений параметров радиационной обстановки и дозовых пределов.

Рассмотрение возможных значений неопределённости результатов измерения параметров радиационной обстановки показало, что в большинстве случаев относительная неопределённость не превышает 0,3 – 0,6. Эти величины можно рекомендовать для использования при установлении максимальных значений контрольных уровней радиационных факторов и доз облучения персонала.

Methodical Approaches to Establishing Control Levels' Parameters of the Radiation Environment and Radiation Doses to Staff

A.V. Simakov, Yu.V. Abramov, N.L. Proskuryakova, O.V. Isaev, T.M. Alferova

A.I. Burnasyan Federal Medical Biophysical Center, Moscow, Russia

Contact person: Yuriy Viktorovich Abramov: abramov-1948@yandex.ru

ABSTRACT

Purpose: The aim of work is to substantiate methodological approaches in establishing the parameters of the radiation situation at the workplaces of staff and radiation doses.

Results: Methodological approaches to establishing the following types of control levels (CL) are presented:

- the maximum possible CL, established from the conditions of guaranteed not exceeding the permissible values of the parameters of the radiation situation and the limits of radiation doses;
- CL, established from the condition of fixing the achieved values of the parameters of the radiation situation at a level below acceptable values;
- CL, exceeding the permissible values of the parameters of the radiation environment, established in those cases when the time of radiation exposure is short, and the decrease in existing levels is associated with significant labor and dose costs.

Regulatory documents of the sanitary-epidemiological standardization system require the establishment of CL for radiation facilities for all monitored parameters with the aim of operational monitoring of the radiation situation, preventing exceeding the basic dose limits for personnel and the public, fixing the achieved level of radiation safety and ensuring further reduction of exposure levels for personnel and the public. In this case, the interpretation of the results of radiation monitoring should be carried out taking into account the uncertainty of the measurement result of the parameters of the radiation situation and radiation doses.

Keywords: *control levele, dose limit, personnel, measurement uncertainty*

For citation: Simakov A.V., Abramov Yu.V., Proskuryakova N.L., Isaev O.V., Alferova T.M. Methodical Approaches to Establishing Control Levels' Parameters of the Radiation Environment and Radiation Doses to Staff. Medical Radiology and Radiation Safety 2021;66(1):20-24.

DOI: 10.12737/1024-6177-2021-66-1-20-24

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ/REFERENCES

1. СанПиН 2.6.1.2523—09 Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009). [SanPiN 2.6.1.2523-09. Radiation Safety Standards (NRB-99/2009) M. 2009 (In Russian)].
2. СП 2.6.1.2612-10 Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010) (редакция 2013 г.). [SP 2.6.1.2612-10. Basic Health Rules for Radiation Safety (OSPORB-99/2010) in ed. Amendment number 1, approved by the Statement of the Chief Medical Officer of the Russian Federation of 16.09.2013 N 43 (In Russian)].
3. Методические указания МУ 2.6.5.008-2016 Контроль радиационной обстановки. Общие требования. [Methodical instructions MU 2.6.5.008-2016 Monitoring of the radiation situation. General requirements. (In Russian)].
4. Симakov АВ, Абрамов, ЮВ, Проскурякова НЛ Радиационно-гигиенические аспекты управления безопасностью персонала. Гигиена и санитария, 2017; 96(9):878-82. [Simakov AV, Abramov YuV, Proskuryakova NL Radiation Hygienic Aspects of the Safety Control of the Personnel. Hygiene & Sanitation. 2017; 96(9):878-82. (In Russian)]. DOI: <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2017-96-9-878-882>.
5. МУ 2.6.5.028-2016. Определение индивидуальных эффективных и эквивалентных доз и организация контроля профессионального облучения в условиях планируемого облучения. Общие требования. [MU 2.6.5.028-2016 Determination of individual effective and equivalent doses and organization of control of occupational exposure in the context of the planned exposure. General requirements. (In Russian)].
6. МУ 2.6.5.26-2016 Дозиметрический контроль внешнего профессионального облучения. Общие требования. [MU 2.6.5.26-2016 Dosimetric monitoring of external occupational exposure. General requirements. (In Russian)].
7. МУ 2.6.5.009-2016 Объемная активность радионуклидов в воздухе на рабочих местах. Требования к определению среднегодовой объемной активности. [MU 2.6.5.009-2016 Volumetric activity of radionuclides in the air at workplaces. Requirements for determining the average annual volumetric activity. (In Russian)].
8. МУ 2.6.5.032-2017 Контроль радиоактивного загрязнения поверхностей. [MU 2.6.5.032-2017 Control of radioactive contamination of surfaces. (In Russian)].

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Участие авторов. Статья подготовлена с равным участием авторов.

Поступила: 02.10.2020. **Принята к публикации:** 23.12.2020.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Financing. The study had no sponsorship.

Contribution. Article was prepared with equal participation of the authors.

Article received: 02.10.2020. **Accepted for publication:** 23.12.2020.