

Методические основы группового дозиметрического контроля на предприятии

Изложены основные подходы к выполнению группового дозиметрического контроля (ГДК) на радиационном предприятии. В качестве исходной экспериментальной информации при ГДК принята мощность AMBIENTНОЙ величины дозы на рабочем месте (операционная величина) и ее зависимость от времени в течение периода контроля. Контролируемыми величинами являются фактическая эффективная доза, полученная работником за время облучения, и прогнозная доза, которую может получить работник в течение года. Показаны критерии соответствия результатов ГДК контрольным уровням регистрации индивидуальной дозы и уровням введения индивидуального контроля с учетом неопределенности результатов.

Ключевые слова: групповой дозиметрический контроль, период и интервал контроля, операционная величина, эффективная доза фактическая и прогнозная, неопределенность результатов, критерии соответствия.

Е.И.Григорьев, В.П.Ярына (ФГУП «ВНИИФТРИ», п.Менделеево Московской области)

Задача группового дозиметрического контроля (ГДК), сформулированная в основополагающих методических указаниях [1,2], заключается в определении индивидуальных доз облучения работников на основании информации о радиационной обстановке на рабочих местах [4]. Контроль индивидуальных доз профессионального облучения персонала радиационного предприятия осуществляется с целью подтверждения соответствия условий труда работника требованиям и нормам радиационной безопасности, установленным НРБ-99/2009 и ОСПОРБ-99/2010. ГДК применяется только в условиях нормальной эксплуатации источников излучения на предприятии для персонала группы Б, а также для персонала группы А, если по оценке годовая индивидуальная доза на рабочем месте не превысит уровень введения индивидуального дозиметрического контроля, установленный на предприятии. В дан-

ной публикации мы ограничимся вопросами определения посредством ГДК эффективной индивидуальной дозы (ИД) внешнего облучения работников фотонами и нейтронами. Рассмотрим основные понятия, а также исходные измеряемые и расчетные величины, используемые в практической реализации ГДК на предприятиях.

Операционной величиной для расчетного определения ИД является непосредственно измеряемая величина – мощность AMBIENTНОЙ эквивалента дозы (МЭД) нейтронного и гамма-излучения, характеризующая радиационную обстановку на рабочем месте (стандартизованное обозначение $\dot{H}^*(10)$; далее в тексте – D , мкЗ/ч).

Период контроля T – календарный промежуток времени, в рамках которого происходит или может происходить облучение работника. Для определения основной нормируемой дозиметрической величины – годовой эффективной дозы – периодом контроля является календарный год.

Интервал контроля T_j – календарный промежуток времени в составе периода контроля, для которого установлено постоянное значение средней МЭД – \bar{D}_j . Период контроля равен сумме интервалов контроля.

Суммарное время облучения работника в рамках j -го интервала контроля – τ_j , час.

Эффективная доза E_j (мЗв), полученная работником за время облучения τ_j (час), в рамках интервала контроля T_j (интервальная ИД) при постоянном значении \bar{D}_j (мкЗв/ч), приписанном данному рабочему месту, вычисляется по формуле:

$$E_j = 10^{-3} \bar{D}_j \cdot \tau_j. \quad (1)$$

Значение E_j , определенное с использованием операционной величины МЭД, характеризующей радиационную обстановку на рабочем месте, представляет собой консервативную оценку индивидуальной дозы.

Суммарная эффективная доза E (мЗв), полученная работником

за все время облучения в рамках периода контроля T на данном рабочем месте, равна сумме интервальных доз:

$$E = \sum_j E_j = 10^{-3} \sum_j (\bar{D}_j \cdot \tau_j). \quad (2)$$

Суммированию подлежат дозы гамма- и нейтронного облучения.

Получение исходных экспериментальных данных (\bar{D}_j) включает два этапа:

- измерение МЭД в назначенных контрольных точках, характеризующих рабочее место (это может быть одна точка или оцененное значение по нескольким точкам на рабочем месте). Полученное значение МЭД – D – в общем случае характеризует рабочее место в конкретный момент текущего времени;

- исследование зависимости МЭД от текущего времени $D(t)$ в течение периода контроля T , выделение интервалов контроля T_j с постоянным средним значением МЭД на интервале \bar{D}_j . Такое исследование, прежде всего, необходимо для периода контроля, равного календарному году.

Инструментальное и методическое обеспечение измерений по первому этапу практически на всех радиационных предприятиях можно признать удовлетворительным. Предприятия оснащены аттестованными методиками измерений МЭД в контрольных точках и на рабочих местах персонала и обладают необходимыми узаконенными средствами измерений. Тем самым, обеспечена возможность получения фактических значений МЭД в любой назначенной контрольной точке в конкретный момент времени (точечные во времени значения МЭД – D_j).

Очевидным способом исследования изменчивости уровня облучения во времени являются регу-

лярные в течение всего периода контроля измерения МЭД на контролируемом рабочем месте. В результате получают ряд точечных во времени значений D_j с собственными неопределенностями U_j^* . Среднее значение вычисляют как среднее арифметическое ряда D_j :

$$\bar{D} = \frac{\sum D_j}{n}, \quad (3)$$

где n – количество точечных результатов.

Рассеяние точечных результатов D_j вокруг \bar{D} не является случайным процессом, поэтому характеризовать дополнительную неопределенность среднего результата за счет изменчивости уровня МЭД с помощью статистического стандартного отклонения не корректно. Следуя принципу консервативности при оценке радиационной опасности, в качестве максимальной неопределенности U_p следует взять максимальное отклонение точечного результата от среднего:

$$U_p = \frac{D_{i\max} - \bar{D}}{\bar{D}}. \quad (4)$$

Если значение U_p превышает заданное значение (например, 50 %), следует разбить период контроля на интервалы, в которых это значение будет меньше, и суммировать дозу по интервалам. Этот способ позволяет определить фактическую индивидуальную дозу, полученную работником при облучении на отдельном рабочем месте в рамках периода контроля.

Суммарная стандартная относительная неопределенность \bar{D} на интервале в предположении равномерного распределения составляющих равна:

$$u_{cp} = \sqrt{\frac{1}{3}(U_D^2 + U_p^2)}, \quad (5)$$

где U_D – суммарная неопределенность ($P = 0,95$) наиболее точного результата из D_j (наименьшая из U_j).

Если контролю подлежит совокупность рабочих мест, то рациональным способом учета изменчивости уровня облучения во времени является мониторинг уровня облучения с помощью детектора непрерывного действия (например, системой АСКРО). Информация системы мониторинга (монитора) $m(t)$ представляет собой показания системы в единицах собственной шкалы m в зависимости от текущего времени t . Для реализации этого способа необходимо для каждого рабочего места из контролируемой совокупности измерить и приписать специальную характеристику – мониторный коэффициент k_m , представляющий собой отношение измеренной МЭД D на рабочем месте к показанию монитора m при этом (калибровочном) измерении:

$$k_m = D/m. \quad (6)$$

Полученные значения k_m индивидуальны для каждого рабочего места и характеризуются суммарными неопределенностями U_{km} ($P = 0,95$). Учитывая условие проведения ГДК (только нормальная радиационная обстановка), можно ожидать постоянства значений k_m . Изменения могут возникнуть при переменах в окружающей обстановке (например, появлении нового источника излучения). Такие случаи должен выявить исполнитель контроля и провести новое измерение мониторного коэффициента. Полезно также введение в суммарную неопределенность дополнительной составляющей $U_{доп}$ на возможную изменчивость k_m .

Для последующего определения для каждого рабочего места

* В данной статье авторы придерживаются следующих обозначений: u – стандартная неопределенность; U – расширенная неопределенность (для $P = 0,95$ или максимальная). Все неопределенности относительные.

среднего за период контроля значения МЭД \bar{D} необходимо определить среднее за период контроля показание монитора \bar{m} , справедливое для всех рабочих мест. Для этого информацию $m(t)$ за календарный период контроля T следует представить в виде ряда значений m_i , распределенных по времени. Обработкой ряда m_i находят среднее арифметическое \bar{m} и максимальную неопределенность U_m за счет разброса m_i по формулам, аналогичным (3) и (4). Среднее значение МЭД за период контроля \bar{D} определяют для каждого рабочего места по формуле:

$$\bar{D} = k_m \cdot \bar{m}. \quad (7)$$

Суммарная относительная стандартная неопределенность значения \bar{D} равна:

$$u_{cp} = \sqrt{\frac{1}{3}(U_{km}^2 + U_m^2 + U_{доп}^2)}. \quad (8)$$

Выделение интервалов контроля внутри периода контроля выполняют, как и в предыдущем способе, ограничением максимальной неопределенности U_m . Этот способ, как и предыдущий, позволяет определить фактическую индивидуальную дозу, полученную работником при облучении на рабочем месте в рамках периода (или интервала) контроля.

Суммарная относительная стандартная неопределенность фактической дозы, полученной за интервал контроля (в пренебрежении погрешностью времени облучения работника), u_{Ej} равна соответствующей неопределенности среднего значения МЭД:

$$u_{Ej} = u_{cp}. \quad (9)$$

Здесь u_{cp} вычисляется по формулам (5) или (8).

Стандартная неопределенность фактической дозы, полученной за период контроля, включающий несколько интервалов (2), равна:

$$u_E = \frac{1}{\sum_j E_j} \sqrt{\sum_j (E_j u_{Ej})^2}. \quad (10)$$

С целью организации учета и регистрации индивидуальных доз, полученных работником за время облучения фотонами и/или нейтронами в рамках периода контроля, следует использовать предельное значение [3] дозы ($E_{пр}$), учитывающее неопределенность полученной расчетной величины:

$$E_{пр} = E(1 + 2u_E), \quad (11)$$

где E – значение эффективной дозы, рассчитанное по формуле (1) для интервала контроля (или периода контроля из одного интервала) или по формуле (2) для периода контроля из нескольких интервалов; u_E – неопределенности, рассчитанные по формулам (9) или (10), приведенные к доверительной вероятности 0,95 коэффициентом расширения “2”.

В качестве норматива регистрации индивидуальной дозы работника на предприятии установлено [1,2] значение годовой эффективной дозы нейтронного и гамма-излучения, равное 1 мЗв (уровень регистрации Y_{PO}). Критерием превышения уровня регистрации для периода контроля 1 год является выполнение неравенства:

$$E_{пр} \geq Y_{PO} = 1 \text{ мЗв}, \quad (12)$$

где $E_{пр}$ (мЗв) – эффективная доза, полученная работником за отчетный календарный год.

Если период контроля составляет ΔT (часть отчетного календарного года), то уровень регистрации Y_P для такого периода при продолжительности облучения работника за этот период τ часов в соответствии с [1,2] составит:

$$Y_P = Y_{PO} \frac{\Delta T}{12} = Y_{PO} \frac{\tau}{2000} = 5 \cdot 10^{-4} \tau, \text{ мЗв}. \quad (13)$$

Здесь календарный период контроля 12 месяцев выражен в виде продолжительности облучения работника за год, равной 2000 часов для стандартных условий облучения. Доза, превышающая уровень регистрации Y_{PO} или Y_P ,

должна регистрироваться в журнале с последующим внесением в индивидуальную карточку работника и в машинный носитель для создания базы данных предприятия в ЕСКИД. При значениях $E_{пр}$ меньше уровня регистрации, индивидуальной дозе приписывается значение, равное нулю [2].

С помощью ГДК определяется необходимость введения индивидуального дозиметрического контроля работников. С этой целью на предприятии устанавливают уровни введения индивидуального контроля Y_{BK} (мЗв), представляющие собой значения годовых эффективных доз внешнего облучения фотонами и нейтронами, при превышении которых необходим индивидуальный дозиметрический контроль работников.

Основой для назначения Y_{BK} на предприятии являются требования, установленные в [1,2], в которых указаны нижние и верхние значения Y_{BK} отдельно для фотонов и нейтронов. Предприятие по принципам обоснования и оптимизации устанавливает конкретные значения в рамках указанного диапазона и регламентирует эти Y_{BK} в Регламенте дозиметрического контроля (ДК) предприятия.

Эффективную дозу, которую работник может получить за календарный год, для сравнения с Y_{BK} следует определять отдельно для облучения фотонами и нейтронами. Исходной экспериментальной информацией об операционных величинах могут служить значения МЭД, измеренные на рабочем месте для фотонов и нейтронов в конкретный момент времени (точечные во времени), или средние значения МЭД, измеренные за какой-то начальный интервал контроля. Чтобы распространить такую информацию на период контроля, равный 1 го-

ду, необходимо сделать прогноз поведения операционной величины в течение этого календарного года. Определение индивидуальных эффективных доз в таких случаях названо [1] прогнозным определением доз облучения. Соответственно, найденная доза является прогнозной годовой индивидуальной эффективной дозой.

Результатом прогноза поведения уровня МЭД должно быть выделение на протяжении календарного года интервалов времени с приблизительно постоянным средним значением МЭД. Такая информация может основываться на априорном знании, аналогах и предыдущем опыте специалиста, ответственного за ГДК на предприятии. Для каждого интервала оценивают возможный максимальный разброс МЭД вокруг наз-

наченного для этого интервала среднего значения МЭД в виде максимальной неопределенности. При определении прогнозной годовой эффективной дозы в качестве фактического времени облучения используют стандартное время облучения работника за календарный год, равное 2000 часов (для интервала контроля – долю от 2000 час, пропорциональную календарной продолжительности этого интервала). Для расчета прогнозных интервальных доз и прогнозной годовой дозы применяют формулы (1) и (2) с соответствующими прогнозными значениями МЭД. Критерием необходимости введения индивидуального контроля на рабочем месте является выполнение неравенства:

$$E_{\text{пр}} = E(1 + U_E) \geq Y_{\text{ВК}} \quad (14)$$

Здесь $E_{\text{пр}}$ – предельное значение [3] прогнозной годовой эффективной дозы (раздельно фотонного и нейтронного облучения) для данного рабочего места; U_E – оцененная суммарная неопределенность ($P = 0,95$) прогнозной дозы.

В настоящей публикации изложены основные общие подходы к выполнению группового дозиметрического контроля на радиационном предприятии. Особенности, характерные для конкретного предприятия, учитываются разработкой и метрологической аттестацией методики ГДК специально для данного предприятия. Это может быть отдельная методика выполнения контроля (МВК) или несколько частных методик, регламентирующих все процедуры ГДК на данном предприятии.

Литература

1. МУ 2.6.1.016-2000. Определение индивидуальных эффективных и эквивалентных доз и организация контроля профессионального облучения в контролируемых условиях обращения с источниками излучения. Общие требования.
2. МУ 2.6.1.25-2000. Дозиметрический контроль внешнего профессионального облучения. Общие требования.
3. Григорьев Е.И., Ярына В.П. Нормирование точности и подтверждение соответствия в радиационном контроле. ИТ №7, 2011.
4. МУ 2.6.1.14-2001. Контроль радиационной обстановки. Общие требования.

Methodical Bases of Group Dosimetric Control on Enterprise

E.I.Grigoirev, V.P.Yarina (VNIIFTRI, Mendeleevo)

Abstract. The basic going is expounded near implementation of group dosimetric control (GDK) on a radiation enterprise. As initial experimental information at GDK of ambient dose equivalent rate in the workplace (operating quantity) and its dependence is accepted on time during the period of control. The controlled quantity it is been actual effective dose, got a worker in times of irradiation and prognosis dose which a worker can get during a year. The criteria of conformity of results of GDK are rotined to the control levels of registration of individual dose and levels of introduction of individual control taking into account the uncertainty of results.

Key words: *group dosimetric control; period and control interval; operating quantity; effective dose actual and prognosis; uncertainty of results; criteria of conformity.*

Е.И.Григорьев (д.т.н., с.н.с., в.н.с.), В.П.Ярына (профессор, зам.нач.НИО) – ФГУП «ВНИИФТРИ», п.Менделеево Солнечногорского р-на Московской обл.).

Контакты: тел. +7 (495) 921-16-28; e-mail: grig@vniiftri.ru.