

# Уровень регистрации доз как инструмент манипуляций

Проведен анализ концепции уровня регистрации индивидуальных доз облучения персонала, предложенной МКРЗ, дана оценка актуальности и обоснованности ее использования в современных условиях. Рассмотрены возможные интерпретации указанной концепции, показано, что они могут приводить к искажению фактических значений показателей облучаемости персонала, в том числе результатов оценки коллективной дозы. Обобщена практика использования концепции уровня регистрации в России и за рубежом.

**Ключевые слова:** индивидуальная доза, коллективная доза, уровень регистрации, персонал, период контроля, профессиональное облучение, нижний предел измерений.

Е.А.Иванов, А.С.Коротков, А.С.Семеновых (АО «ВНИИАЭС», г.Москва)

В соответствии с требованиями международных норм [1] и национальных регулирующих документов [2] индивидуальная доза каждого работника, подвергающегося воздействию ионизирующего излучения, должна быть измерена и зарегистрирована.

Для анализа динамики облучаемости персонала в России и за рубежом принято использовать такие показатели как коллективная доза и ее производная – средняя индивидуальная доза. Значение коллективной дозы определяется видом и объемом выполняемых работ, радиационной обстановкой на рабочих местах, используемыми средствами и методами дозиметрического контроля, принятыми организационно-техническими мерами по радиационной защите персонала и общим количеством работников. Наряду с указанными факторами, существенное, а иногда и определяющее влияние на коллективную дозу оказывает принятый порядок учета доз.

Так, по инициативе МКРЗ почти сорок лет назад в практику учета индивидуальных доз на предприятиях была внедрена кон-

цепция уровня регистрации<sup>1</sup>, допускающая запись в базу данных и карточку учета только той полученной работником дозы, которая превышает установленный регулируемыми документами порог. Указанная концепция получила широкое применение и разнобразную трактовку, однако в современных условиях должен быть поднят вопрос о целесообразности и обоснованности применения уровня регистрации при учете индивидуальных доз и расчете коллективной дозы.

**Эволюция концепции уровня регистрации индивидуальных доз персонала.** Впервые рекомендации по установлению уровня регистрации дозы были даны в Публикации 26 МКРЗ [3] в 1977 году. Предложение заключалось во введении формально определенного уровня, при превышении которого значение индивидуальной дозы (ИД) за год считается значимым, регистрируется и хранится. Внедрение и использование уровня регистрации объяснялось исключительно техническими и экономическими факторами – трудностями в интерпретации

результатов дозиметрического контроля и необходимостью сокращения затрат, поскольку вся информация обрабатывалась и регистрировалась вручную и хранилась на бумажных носителях [3-6]. Научных оснований для введения уровня регистрации не приводилось.

Поскольку в настоящее время все результаты контроля ИД обрабатываются и регистрируются автоматически, а электронные носители информации позволяют хранить сколь угодно большой объем данных, можно сделать вывод, что в современных условиях причины для использования уровня регистрации отсутствуют.

Изначально в качестве численного значения уровня регистрации, применяемого к годовой дозе (далее – RL), предлагалось использовать одну десятую предела соответствующей дозы или поступления (для внутреннего облучения) [3,5]. С момента введения значение RL неоднократно и последовательно снижалось, достигнув к настоящему времени 1 мЗв (табл.1).

В 1997 году МКРЗ [4] дополнила концепцию уровня регистра-

<sup>1</sup> Уровень регистрации (recording level) – значение индивидуальной дозы работника, устанавливаемое регулирующим органом, меньше которого данная величина может не учитываться при ведении регистрационных записей [4], то есть принимается равной нулю.

ции рекомендаций по применению производных от RL уровней регистрации R(T) к ИД работника за каждый период контроля в течение года:

$$R(T) = RL \cdot \frac{T}{12}, \quad (1)$$

где T – длительность периода контроля в месяцах.

Таким образом, в рекомендациях МКРЗ введены одновременно различные уровни регистрации ИД (RL и R(T)) без указания конкретного порядка их применения. Это может приводить к различным интерпретациям концепции уровня регистрации и, как следствие, к применению разнообразных подходов к оценке показателей облучаемости персонала.

В настоящее время МКРЗ призывает, что «на практике при индивидуальном мониторинге внешнего облучения уровни регистрации применяются редко, поскольку измеренное значение дозы обычно используется непосредственно в качестве меры эффективной дозы. В этом случае в качестве уровня регистрации должен использоваться минимальный порог детектирования дозы и результаты ниже этого уровня принимаются равными нулю. Однако уровень регистрации может быть полезен при определении требований к порогу чувствительности дозиметров, он может быть использован в качестве основы для формулирования требований к рабочим характеристикам прибора» [4].

В соответствии с этим положением МАГАТЭ [7] предлагает использовать в качестве уровня ре-

гистрации нижний предел изменения (НПИ) («минимальный порог детектирования»), если он меньше R(T):

$$RL(T) = \min\{\text{НПИ}, R(T)\}. \quad (2)$$

Другими словами, на практике в качестве уровня регистрации предлагается принимать значение НПИ при НПИ  $\leq$  R(T). Принимая во внимание, что НПИ современных индивидуальных дозиметров в десятки раз меньше 1 мЗв, а результаты измерений автоматически пересчитываются в единицы нормируемых величин и вносятся в базы данных, можно предположить, что МКРЗ и МАГАТЭ фактически предлагают отказаться от устаревшей и не имеющей актуальных оснований практики применения уровня регистрации.

Однако понятие и сама концепция уровня регистрации по-прежнему содержится в документах МКРЗ и МАГАТЭ, что оставляет возможность для продолжения ее использования. Полный отказ от его применения для администрации предприятий невыгоден и неудобен, так как его использование позволяет дозиметрической службе на вполне законных основаниях занижать фактические показатели облучаемости – например, коллективную дозу.

#### Возможные интерпретации концепции уровня регистрации при оценке коллективной дозы.

По определению коллективная доза равна сумме индивидуальных доз [8]:

$$S = \sum_{k=1}^N H_k, \quad (3)$$

где  $H_k$  – индивидуальная доза

k-го работника; N – общее число работников.

Концепция уровня регистрации допускает использование трех вариантов оценки коллективной дозы, каждый из которых ведет к искажению фактического значения данного показателя.

1) В коллективной дозе не учитываются работники, получившие дозу меньше RL:

$$S' = \sum_{k=1}^N H_k \cdot \eta(H_k - RL),$$

$$\eta(x) = \begin{cases} 0, & x < 0 \\ 1, & x \geq 0 \end{cases}, \quad (4)$$

где  $\eta(x)$  – функция Хевисайда.

Очевидно, что  $S' \leq S$  за счет возможного исключения из статистики профессионального облучения индивидуальных доз отдельных работников.

2) Уровни регистрации применяются к отдельным результатам контроля индивидуальной дозы в течение календарного года, при этом к полученной годовой дозе RL не применяется:

$$S'' = \sum_{k=1}^N H'_k,$$

$$H'_k = \sum_{j=1}^{n_k} H_{kj} \cdot \eta(H_{kj} - R(T_{kj})),$$

$$S'' \leq S, \quad (5)$$

где  $H_{kj}$  – индивидуальная доза k-го работника за период контроля  $T_{kj}$ ;  $R(T_{kj})$  – уровень регистрации, соответствующий периоду контроля  $T_{kj}$ , рассчитывается по формуле (1);  $n_k$  – число периодов контроля дозы k-го работника в течение года;  $T_{kj}$  – длительность j-го периода контроля дозы k-го работника.

3) Уровни регистрации применяются как к отдельным результатам контроля индивидуальной дозы в течение календарного года, так и при расчете коллективной дозы по формуле (4).

В рекомендациях МКРЗ и МАГАТЭ не прописан прямой запрет на последовательное многок-

Табл. 1. Эволюция значения RL в Публикациях МКРЗ.

Год	Публикация МКРЗ	RL, мЗв
1982	26/35 [3,5]	50 мЗв/10 = 5 мЗв
1991	35/60 [5,6]	20 мЗв/10 = 2 мЗв
1997	60/75 [4,6]	1 мЗв

ратное сравнение результатов ИДК с уровнем регистрации: при считывании показаний индивидуальных дозиметров по окончании каждого периода контроля  $T_{kj}$  и после расчета искаженной итоговой годовой дозы работника  $H'_k$ . Указанный подход приводит к еще большей недооценке значения коллективной дозы:

$$S''' = \sum_{k=1}^N H'_k \cdot \eta(H'_k - RL),$$

$$S''' \leq S', S''' \leq S'', \quad (6)$$

Оцененные с использованием концепции уровня регистрации коллективные дозы ( $S'$ ,  $S''$  и  $S'''$ ) в условиях, когда фактические годовые ИД большинства работников находятся вблизи или ниже  $RL$ , могут быть лишены физического смысла, так как перестают отражать реальный уровень облучения персонала.

Случайные или преднамеренные манипуляции при применении уровня регистрации в процессе обработки результатов ИДК ведут к искажению (занижению) показателей облучаемости персонала. Масштаб искажения зависит от параметров распределения индивидуальных доз персонала, поставленного на ИДК, и от интерпретации рекомендаций МКРЗ и МАГАТЭ по применению уровня регистрации. Использование полученных с применением концепции уровня регистрации искаженных значений коллективной дозы при анализе состояния РБ на предприятии может привести к ложным выводам о достигнутом уровне РБ и принятию ошибочных организационно-технических решений.

**Примеры возможного влияния концепции уровня регистрации на результаты оценки коллективной дозы.** Совершенствование системы радиационной защиты в настоящее время привело к зна-

чительному снижению показателей облучаемости персонала по сравнению с аналогичными показателями 15–20-летней давности. В случае, если средняя годовая индивидуальная доза приблизительно равна или ниже  $RL = 1$  мЗв, такой показатель, как годовая коллективная доза, рассчитанная с учетом уровня регистрации, становится по сути случайной, неинформативной величиной, зависящей от распределения дозозатрат внутри подразделения, что проиллюстрировано на примерах ниже.

Отношение фактической коллективной дозы  $S$  к коллективной дозе  $S'$ , рассчитанной с учетом уровня регистрации, определяется долей работников в общей численности персонала с дозами, большими или равными уровня регистрации (критическая группа), а также отношением средней индивидуальной дозы в критической группе ( $\bar{H}_1$ ) к средней индивидуальной дозе остального персонала ( $\bar{H}_2$ ) и записывается в виде:

$$\phi = \frac{S}{S'} = 1 + \frac{S_2}{S_1} = 1 + (p^{-1} - 1) \cdot x,$$

$$x = \frac{\bar{H}_2}{\bar{H}_1}, \quad p = \frac{n}{N}, \quad (7)$$

где  $S_1$  – коллективная доза персонала критической группы (группа 1);  $S_2$  – коллективная доза остального персонала (группа 2);  $N$  – общая численность персонала;  $n$  – численность персонала в критической группе.

Зависимость  $\phi(x)$  для различных  $p$  показана на графиках на рис.1.

Рассмотрим два однотипных предприятия  $\Pi_1$  и  $\Pi_2$  с одинаковой численностью персонала (100 человек) и со следующим распределением годовых индивидуальных доз по персоналу:

1) для  $\Pi_1$  – 90 человек с индивидуальной дозой 0,9 мЗв, а 10 человек – с 1,1 мЗв;

2) для  $\Pi_2$  – 80 человек с индивидуальной дозой 0,3 мЗв, а 20 человек – с 1,1 мЗв.

В этом случае фактические годовые коллективные дозы персонала предприятия  $\Pi_1$  и  $\Pi_2$  относятся как 2:1. После применения  $RL$  к годовым индивидуальным дозам соотношение коллективных доз персонала предприятий  $\Pi_1$  и  $\Pi_2$  изменится на диаметрально противоположное (табл.2).

Соответствующие точки (значения отношений  $S/S'$  для подразделений  $\Pi_1$  и  $\Pi_2$ ) отмечены на рис.1.

Аналогично представленному примеру, при оценке временной динамики изменения облучаемости персонала (например, установление тенденции снижения годовой коллективной дозы) флуктуации значений годовой коллективной дозы могут быть обусловлены не объективными факторами (продолжительность и дозозатратность работ, радиационная обстановка на рабочих местах и др.), а распределением персонала по отношению к уровню регистрации.

Предлагаемое в [4,7] использование НПИ прибора в качестве уровня регистрации (2) поощряет манипуляции с периодичностью считывания показаний средства измерений (СИ) и подталкивает к использованию СИ с максимально допустимым НПИ с целью искусственного занижения показателей облучаемости персонала (в т.ч. коллективной дозы).

Очевидно, что повышение  $RL(T)$  за счет увеличения НПИ дозиметра приведет к уменьшению параметра  $p$  (7) и, как видно из рис.1, к увеличению величины  $\phi$ , то есть к занижению оценки коллективной дозы. Таким образом, налицо противоречие: повышение качества ИДК за счет совершенствования приборного парка и внедрения более чувствитель-

ных дозиметров может привести к увеличению оценки коллективной дозы персонала, в чем не заинтересована администрация предприятия.

Так как длительность периода контроля (ношения дозиметра) не устанавливается ни рекомендациями МКРЗ и МАГАТЭ, ни нормативными документами, то период контроля на разных предприятиях может отличаться. Изменяя период контроля (и соответственно значение доли в уровне регистрации (1)), можно манипулировать результатом расчета коллективной дозы.

Проиллюстрируем это на примере подразделения одного из радиационных объектов с характерным распределением индивидуальных доз (рис.2).

Выполним оценку коллективной дозы персонала подразделения без применения уровня регистрации и с применением R(T) для двух вариантов периода контроля T – один год и один месяц, а также для случая последователь-

Табл.2. Оценки коллективных доз персонала предприятий и их отношения.

Подразделение	S	S'	S/S'
П <sub>1</sub>	92 чел-мЗв	11 чел-мЗв	8,4
П <sub>2</sub>	46 чел-мЗв	22 чел-мЗв	2,1
П <sub>1</sub> /П <sub>2</sub>	2	0,5	4

ного применения R(T) и RL к индивидуальным дозам за период контроля и к годовой дозе (табл.3). Для расчета используются формулы (4)–(6), не противоречащие рекомендациям МКРЗ и МАГАТЭ [4,7].

Результаты оценки коллективной дозы с использованием концепции уровня регистрации для периодов контроля один год и один месяц меньше фактического значения в 1,7 и 1,5 раза соответственно (табл.3), а в результате последовательного применения уровня регистрации к месячным и годовым дозам коллективная доза занижается более чем в два раза.

**Применение уровня регистрации в России и за рубежом.** Следует отметить, что концепция

уровня регистрации, предложенная МКРЗ и МАГАТЭ, противоречит российскому законодательству и общепринятой беспороговой концепции [6]. В соответствии со статьей 13 ФЗ «Об использовании атомной энергии» [9] «*граждане, подвергшиеся облучению, имеют право на получение соответствующего документа о дозе полученного облучения*». При этом нижний предел полученной дозы законом не определен и может быть сколь угодно малым.

На основании рекомендаций МАГАТЭ [7,10] и МКРЗ [4] в России были разработаны нормативные документы, регламентирующие порядок учета индивидуальных доз персонала [11,12]. Однако во избежание противоречий с рос-

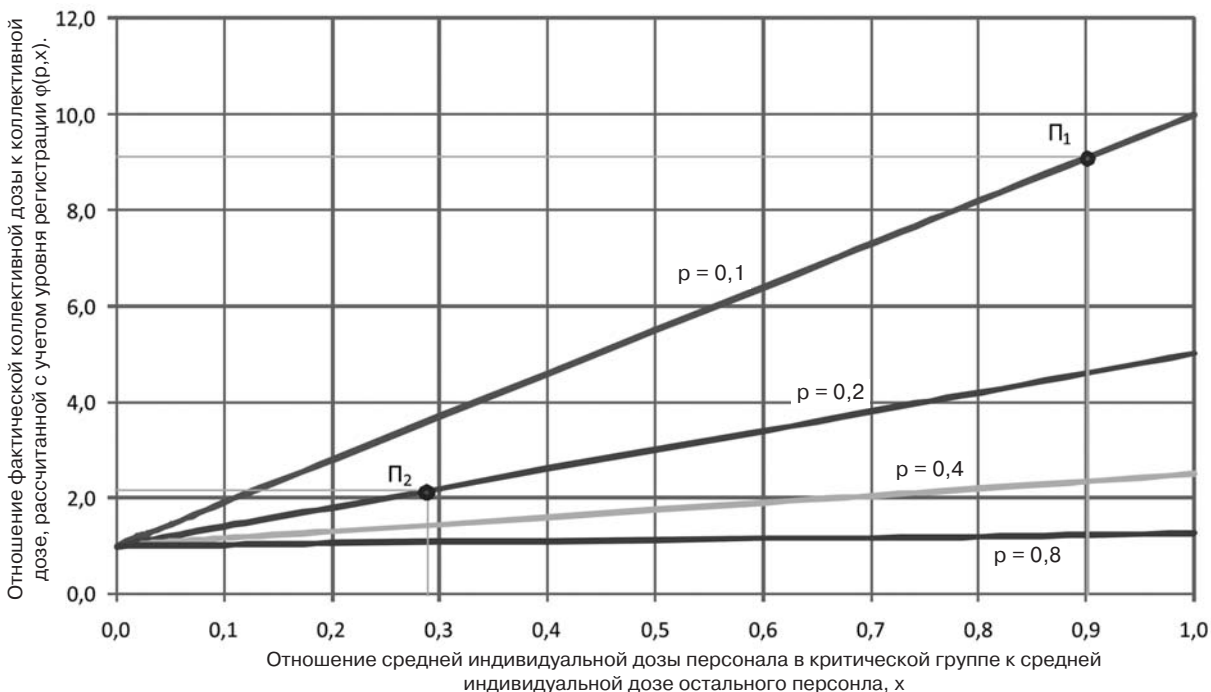


Рис. 1. Зависимость  $\phi(x)$  при различных  $p$ .

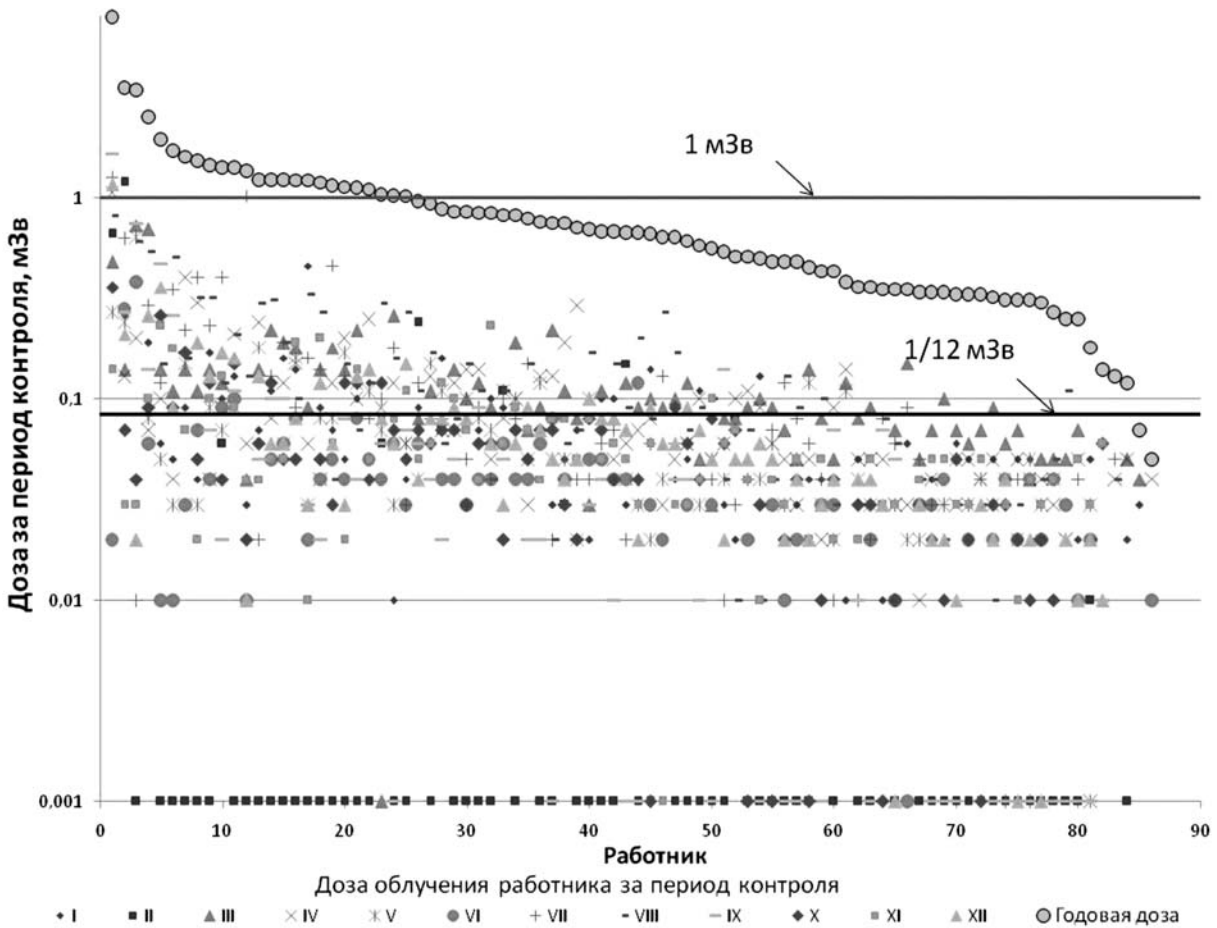


Рис.2. Распределение индивидуальных доз облучения персонала.

сийским законодательством в [12] концепция уровня регистрации получила новую интерпретацию: «в случае, когда определенное посредством ГДК или ИДК значение эффективной дозы или эквивалентной дозы облучения органа или ткани работника, полученной в течение периода контроля профессионального облучения, не превышает значения уровня регистрации, его индивидуальной дозе за период контроля приписывается следующее значение:

– равно нулю для расчета коллективной дозы, представляемой во внешние организации;

– равно определенному по результату ГДК и ИДК в учетную карточку работника».

Таким образом, положения национальных нормативных документов [11,12] по применению концепции уровня регистрации доз открывают для предприятий широкие возможности для манипуляций значениями коллективной дозы, показанные на примерах выше, для последующего

представления этих значений «во внешние организации».

В различных странах в качестве  $RL(T)$  применяется как доля в фиксированной годовой индивидуальной дозе  $R(T)$ , пропорциональная периоду контроля  $T$ , так и НПИ используемых дозиметров. Значения  $RL(T)$  и порядок записи индивидуальных доз ниже  $RL(T)$  сильно разнятся от страны к стране.

НКДАР ООН отмечает [13], что в большинстве случаев в качестве  $RL(T)$  используются НПИ средств измерений. При этом в случае, когда результат оценки индивидуальной дозы оказывается ниже НПИ, возможны три варианта записей: ноль, установленная доля НПИ или НПИ.

Табл.3. Сравнение оценок коллективных доз для разных периодов контроля.

Годовая коллективная доза, чел.мЗв	S	S'	S''	S'''
		T = 1 год	T = 1 месяц	T = 1 месяц
	75,4 мЗв	44,7 мЗв	51,7 мЗв	32,1 мЗв
S/S(RL)	1	1,7	1,5	2,3

Реально используемые значения  $RL(T)$  изменяются от предельно низких до аномально высоких [14]:

– 1 мкЗв (Германия, переработка урана и производство ядерного топлива) и 5 мкЗв (Испания, эксплуатация реакторных установок);

– 0,4 мЗв (проведение исследований в области ядерного топливного цикла) и 0,5 мЗв (все остальные категории персонала, кроме медицинских работников) в Польше.

Следует отметить, что показатели облучаемости персонала, состоящего на ИДК в разных странах (в частности, коллективная доза), сопоставляются в рамках различных международных программ (показатели безопасности WANO, программа ISOE). Отсутствие четкого унифицированного порядка регистрации индивидуальных доз затрудняет реализацию таких программ. Кроме того, в некоторых странах изменяется или создается дополнительный порядок определения дозовых показателей, передаваемых в международные организации, с целью достижения равных условий с другими странами.

Очевидно, что повсеместное внедрение современных технологий обработки и хранения информации позволяет без дополнительных затрат вести учет всех без исключения индивидуальных доз персонала и полностью исключает необходимость применения уровня регистрации, которое, как было показано выше, может приводить к:

– искажению показателей облучаемости персонала (индивидуальных и коллективных доз), в том числе путем сознательных манипуляций;

– появлению различных интерпретаций для устранения противоречий с национальным законодательством;

– отсутствию унификации при определении различными государствами такого показателя безопасности, как коллективная доза.

Учитывая указанные обстоятельства, целесообразно полностью отказаться от применения концепции уровня регистрации в различных ее интерпретациях. При этом, если полученная доза ниже НПИ дозиметра, следует присваивать ей значение НПИ (либо специально обоснованной доли в НПИ) и заносить этот результат в учетную карточку работника. Такой подход полностью соответствует общепринятой (в том числе и в России) беспороговой концепции [6,8] и позволит стимулировать применение более чувствительных современных индивидуальных дозиметров.

**Выводы.** В связи с тем, что научные основания для использования уровня регистрации индивидуальных доз отсутствуют, а изначальные причины его введения утратили актуальность, применение уровня регистрации в процессе индивидуального дозиметрического контроля в современных условиях необоснованно.

Использование уровня регистрации может приводить к искаже-

нию показателей облучаемости персонала (например, коллективной дозы), особенно значительному при средних индивидуальных годовых дозах близких или меньших 1 мЗв.

Любое упоминание уровня регистрации индивидуальных доз в действующих нормативных документах, регламентирующих порядок учета доз, не исключает случайного или преднамеренного искажения значений показателей облучаемости персонала.

В настоящее время за рубежом в качестве уровня регистрации в большинстве случаев используется НПИ дозиметров. При этом МКРЗ и МАГАТЭ рекомендуют дозы ниже НПИ приравнять нулю, что не соответствует беспороговой концепции, поощряет использование дозиметров с низкой чувствительностью и манипуляции с периодами считывания их показаний с целью искусственного снижения доз облучения персонала.

Результаты дозиметрического контроля должны без искажения регистрироваться и использоваться в программах мониторинга, что позволит избежать манипуляций с оценкой показателей облучаемости персонала. Для исключения вероятности занижения дозы работника в случае, если полученная доза ниже НПИ дозиметра, ей следует присваивать значение НПИ либо обоснованной доли в НПИ.

## Литература

1. Агентство по Ядерной Энергии ОЭСР, Всемирная Организация Здравоохранения, Международная Организация труда, Международное Агентство по Атомной Энергии, Панамериканская Организация Здравоохранения, Продовольственная и Сельскохозяйственная Организация Объединенных Наций. Международные основные нормы безопасности для защиты от ионизирующих излучений и безопасного обращения с источниками излучения. Серия изданий по безопасности 115. Вена: МАГАТЭ, 1997.
2. СП 2.6.1.2612-10. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010). М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2010.
3. Радиационная защита. Публикация 26 МКРЗ. Пер. с англ. М.: Атомиздат, 1978.
4. Общие принципы радиационной защиты персонала. Публикация 75 МКРЗ. Пер. с англ. Екатеринбург: УРАЛЭСЦЕНТР, 1999.
5. Общие принципы радиационного контроля облучения лиц, работающих с источниками ионизирующих излучений. Публикация 35 МКРЗ. Пер. с англ. М.: Энергоатомиздат, 1985.
6. Радиационная безопасность. Рекомендации МКРЗ 1990 г. Публикации 60, 61 МКРЗ. Пер. с англ. М.: Энергоатомиздат, 1994.
7. Международное Агентство по атомной энергии, Международное Бюро Труда. Радиационная защита при профессиональном облучении. Серия норм безопасности, RS-G-1.1. Вена: МАГАТЭ, 1999.
8. СанПин 2.6.1.2523-09. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009). М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009.
9. №170-ФЗ от 21.11.1995 "Об использовании атомной энергии".
10. Международное Агентство по Атомной Энергии, Международное Бюро Труда, Оценка профессионального облучения от внешних источников ионизирующего излучения. Серия норм безопасности, RS-G-1.3. Вена: МАГАТЭ, 1999.
11. МУ 2.6.1.16-2000. Определение индивидуальных эффективных и эквивалентных доз и организация контроля профессионального облучения в контролируемых условиях обращения с источниками излучения. Общие требования.
12. МУ 2.6.1.25-2000. Дозиметрический контроль внешнего профессионального облучения. Общие требования.
13. Sources and Effects of Ionizing Radiation, UNSCEAR 2000 Report, Volume I: Sources ([http://www.unscear.org/unscear/en/publications/2000\\_1.html](http://www.unscear.org/unscear/en/publications/2000_1.html)).
14. Sources and Effects of Ionizing Radiation, UNSCEAR 2008 Report: Volume I: Sources - Report to the General Assembly Scientific Annexes A and B ([http://www.unscear.org/unscear/en/publications/2008\\_1.html](http://www.unscear.org/unscear/en/publications/2008_1.html)).

## Recording Level for Individual Monitoring As a Tool of Manipulations

Ivanov Evgeny, Korotkov Alexey, Semenovykh Anton (JSC "VNIIAES", Moscow, Russia)

**Abstract.** Analysis of the individual doses recording level conception recommended by the ICRP was carried out. The relevance and justification of its application in modern circumstances were assessed. Different interpretations of this concept were considered, and it was shown that they can lead to incorrect estimations of actual indicators of occupational exposure (including collective doses). Practical application of the recording level in Russia and abroad was generalized.

**Key words:** *individual dose, collective dose, recording level, workers, monitoring period, occupational exposure, minimum detectable level.*

Е.А.Иванов (к.т.н., с.н.с., зам.дирек.), А.С.Коротков (нач.лаб.), А.С.Семеновых (гл.спец.) – АО «ВНИИАЭС», 109507, г.Москва, ул.Ферганская, д.25.

Контакты: тел.: +7 (495) 376-15-44; e-mail: korotkov@vniiaes.ru.