



ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

ИФВЭ 2000-1
ОРИ

А.Г. Алексеев¹, П.Ф. Масляев², В.Н. Лебедев, А.В. Санников,
А.П. Панфилов³, Ю.В. Быстров, Е.В. Косяненко

СЛИЧЕНИЕ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ДОЗИМЕТРОВ ФОТОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ (СОМПАР-98)

Направлено в АНРИ

¹ E-mail:alexeev@m10.ihep.su,

² ГП “ВНИИФТРИ”, п.Менделеево, Московской обл.

³ Минатом РФ, г. Москва

Протвино 2000

Аннотация

Алексеев А.Г. и др. Сличение индивидуальных дозиметров фотонного излучения (Compar-98): Препринт ИФВЭ 2000-1. – Протвино, 2000. – 12 с., 5 рис., 4 табл., библиогр.: 6.

В рамках создания системы обеспечения единства измерений для индивидуального дозиметрического контроля на предприятиях Минатома было проведено сличение методов и средств измерений, используемых в разных лабораториях. В работе представлены данные и анализ результатов сличения индивидуальных дозиметров фотонного излучения. Проведен анализ соответствия используемых систем требованиям НРБ-96/99.

Abstract

Alexeev A.G. et. al. The Comparison of Photon Radiation Individual Dosimeters (Compar-98): IHEP Preprint 2000-1. – Protvino, 2000. – p. 12, figs. 5, tables 4, refs.: 6.

Within the framework of creation of quality control system of individual monitoring service at the Minatom plants was carried out the test of methods and a dosimeter systems used in different laboratories. In work the data and analysis of results of the test are submitted foton radiation individual dosimeters. The analysis of conformity of used systems is carried out to the requirements NRB-96/99.

Введение

В новых нормативных документах, регламентирующих вопросы радиационной безопасности, одним из главных количественных критериев оценки состояния радиационной безопасности на предприятии является характеристика доз облучения, получаемых персоналом и населением от основных видов излучения [1]. Облучаемость анализируется на основе данных индивидуального радиационного контроля (ИРК). Следовательно, точность и достоверность данных ИРК является важнейшим моментом.

В международной и отечественной практике сложилась определенная система, позволяющая гарантировать качество выполнения ИРК [2],[3]. Три важнейших компонента этой системы (часто не связанных организационно и методически друг с другом) это:

- Контроль со стороны органов сертификации (Госстандарт) за соблюдением технических требований к средствам измерения (СИ), используемым в ИРК. Обычно это происходит на стадии сертификации новых разработанных дозиметров (уровень: орган сертификации — производитель (разработчик)).
- Проведение периодических поверок СИ ИРК. Обычно проводится метрологической службой предприятия. Позволяет контролировать воспроизводимость некоторых технических характеристик (уровень: метрологическая служба — служба ИРК).
- Проведение регулярных или эпизодических тестов служб ИРК, обычно в виде организации сличений. Организатором, как правило, является заинтересованный в получении информации о состоянии дел орган сертификации (примером может служить РТВ), международная организация (например, МАГАТЭ), ведомство. Как показывает 10-летний опыт регулярных тестов [2], такой мониторинг позволяет существенно улучшить качество работ служб ИРК.

На наш взгляд, только постоянное присутствие этих трёх компонентов позволяет отследить реальное соответствие уровня служб ИРК нормативным требованиям. Первые два направления присутствуют всегда, так как регламентированы законодательством. К сожалению, организация и проведение сличений ИРК в отечественной практике носит случайный и разовый характер (примером может служить сличение СИ ИРК ускорительных центров [4]). В то же время существуют множество многолетних международных программ проведения регулярных сличений ИРК (примером может служить деятельность МАГАТЭ и РТВ) [5], [6].

В рамках программы подготовки отрасли к переходу на НРБ-96/99 Минатомом было организовано проведение сличения СИ ИРК предприятий министерства (Compar-98). Основная цель проведения сличения — оценка состояния используемых методов и средств измерения ИРК с точки зрения обеспечения единства измерений и соответствия их характеристик существующим требованиям. В данной работе представлены результаты этого сличения.

1. Участники сличения и используемые дозиметрические системы

В сличении принимали участие 17 дозиметрических систем от 16 предприятий, список участников представлен в Приложении. Каждому участнику (дозиметрической системе) организаторами был присвоен номер, под которым они в дальнейшем фигурировали при представлении результатов. Номер участника известен только организаторам сличения и самому участнику (анонимное сличение). Обязательным условием сличения являлось использование рутинных дозиметров и методик обработки. Основные характеристики участвовавших в сличении систем ИРК приведены в табл.1. Внешний вид дозиметров представлен на рис.1.

Таблица 1. Основные характеристики систем ИРК в сличении Compar-98

Участник	Детектор фотонов	Кассета-дозиметр	Считыватель
A	ТЛД-500К	ДТУ-02	АИСТ-1
B	ДТГ-4	ДТА-01	RADOS
C	ПСТ-1 (ИС-7)	ДДГ-01Ц	ТДК-01Ц
D	?	?	?
E	ТЛД-500К	ДТУ-02	КДТ-02М
F	ТЛД-500К	ДПГ-03	КДТ-02
G	Пленка «Ренекс»	ИФКУ-1	ИФКУ-1
H	ТЛД-500К	ДТУ-02	КДТ-02-01
I	ДТГ-4	ДПГ-03	КДТ-02М
J	ТЛД-500К	ДТУ-02	КДТ-02М
K	ТЛД-580	ДПГ-03	КДТ-02М
L	ТЛД-500К	ДПГ-03	КДТ-02М
M	ТЛД-500К	ДТУ-02	КДТ-02М
N	ТЛД-1011	ДТА-01	HARSHOW
O	Пленка РТ-1	ИФКУ-1	ИФКУ-1
P	ПСТ-1 (ИС-7)	ДДГ-01Ц	ТДК-01Ц
R	ДТГ-4	ДТЛ-01	АКИРК-201
S	ДТГ-4	ДТЛ-01	АКИРК-201

Примечание: ? – участник под номером D характеристик своей системы не представил.

Наиболее широко в сличении представлены системы ИРК на основе ТЛД-500К (корунд) в кассетах ДТУ-02 и ДПГ-03 в комплекте со считывателем КДТ-02. Кроме того, четыре участника применяют ТЛД LiF (ДТГ-4), по два участника — алюмофосфатное стекло ИС-7 и рентгеновскую пленку, и один участник — ТЛД-580 (борат магния) с различными кассетами и считывателями. В сличении участвовали по 20 кассет-дозиметров от каждой организации, 3 из которых являлись фоновыми.



Рис. 1. Внешний вид дозиметров.

2. Условия облучения

Программа сличения была составлена достаточно простой и включала в себя облучение с использованием 3 источников излучения (Cs^{137} , Co^{60} и рентгеновское излучение со средней энергией 71 кэВ). Стандартным условием облучения было облучение кассет-дозиметров на поверхности плоского тканеэквивалентного фантома, ориентированной перпендикулярно падающему излучению (0°). Кроме того, одна экспозиция была выполнена на фантоме, ориентированном под углом 40° к пучку, и одна экспозиция в свободном воздухе без фантома при нормальном облучении кассет-дозиметров. Измеряемой величиной являлась индивидуальная эквивалентная доза, рекомендуемая в качестве основной операционной величины в ИРК проникающего излучения после введения НРБ-96 и соответствующая требованиям ЕТ ИРК-86 для индивидуальных дозиметров фотонного излучения. Переход от экспозиционной дозы X, измеряемой в свободном воздухе, к индивидуальной эквивалентной дозе, измеряемой на теле или на фантоме, проводился по формуле:

$$H_p(10)[\text{Зв}] = C_p(E, \alpha^\circ)[\text{Зв}/\Gamma p] \frac{K_a}{X} [\Gamma p/P] X[P]. \quad (1)$$

Значения K_a/X и $C_p(E, \alpha^o)$ в соответствии со стандартом ИСО 4037 представлены в табл. 2.

Таблица 2. Значения коэффициентов K_a/X и $C_p(E, \alpha^o)$ в сличении Compar-98

Поле излучения	E(кэВ)	α^o	$C_p(E, \alpha^o)$ (Зв/Гр)	K_a/X (мГр/Р)
Рентген. изл.	71	0	1,89	8,69
Cs-137	662	0	1,21	8,75
Cs-137	662	40	1,20	8,75
Co-60	1250	0	1,15	8,75

В табл. 3 представлено описание условий облучения дозиметров (“Протокол облучения”).

Таблица 3. Протокол облучения индивидуальных дозиметров в сличении Compar-98

Номер дозиметра	Поле	Угол (град.)	$H_p(10)$ (мЗв)
1,2	71 кэВ (без фантома)	0	5,0
3,4	71 кэВ	0	5,0
5,6	Co-60	0	0,5
7,8	Co-60	0	15,0
9,10	Cs-137	0	1,0
11,12	Cs-137	0	10,0
13,14	Cs-137	40	3,0
15,16,17	Cs-137(градуировка)	0	8,0
18,19,20	Фон		

Облучения в полях источников Cs-137 и Co-60 проводились в ИФВЭ, облучение кассет-дозиметров рентгеновским излучением выполнено во ВНИИФТРИ.

Характеристика условий облучения в ИФВЭ:

- Установка УПГД-1К с источником Cs-137: расстояние от источника до точки измерения — 1 м, мощность дозы — 0,295 мР/с.
- Установка УПГД-1К с источником Co-60: расстояние от источника до точки измерения — 1,2 м, мощность дозы — 24,5 мкР/с.
- Установки аттестованы по экспозиционной дозе в качестве образцовых СИ II-го разряда.
- Фантом: пластина из оргстекла толщиной 15 см.

Характеристика условий облучения во ВНИИФТРИ:

- Рентгеновский аппарат РУМ-13: расстояние от мишени — 2,9 м, мощность дозы — 50 мЗв/ч, эффективная энергия — 71 кэВ (напряжение 140 кВ, фильтр 0,5 мм Cu + 1 мм Al).
- Фантом: пластина из тканеэквивалентной пластмассы П2Д-МБТ.
- Образцовое средство измерения: дозиметр М2300 со сферической ионизационной камерой диаметром 16 мм, аттестованный по полевой поглощенной дозе с погрешностью не более 4% (при $p=0,95$). Камера размещалась во время облучений на расстоянии 80 мм от оси пучка. Показания камеры интерпретировались в единицах индивидуальной эквивалентной дозы $H_p(10)$ (облучения на фантоме) либо в единицах полевой эквивалентной дозы (облучения без фантома).

3. Результаты измерений

Результаты измерений представлены на рис.2, 3, 4. Индивидуальные дозиметры участников О,Р,Р,С в полях рентгеновского излучения не облучались по разным причинам. Значения индивидуальных эквивалентных доз облучения $H_p(10)$ обозначаются в дальнейшем как H_p , а результаты измерений этих доз — Н. На рис.4 приведены результаты сличения в виде отношения этих доз, позволяющие более наглядно показать отклонение измеренных доз от измеряемых величин независимо от величины дозы и провести статистический анализ полученных данных. На рис.2 представлены средние значения r , рассчитанные по всем результатам и по данным в полях Cs-137 и Co-60 и использованные в дальнейшем в качестве градуировочных. На рис.3 среднеквадратичные отклонения единичного измерения для этих случаев. В 5 случаях из 17 отклонение превышает 15%.

Для разделения погрешностей градуировки и других систематических ошибок на рис.4 приведены данные с учетом градуировки (рис.2) организаторов сличения.

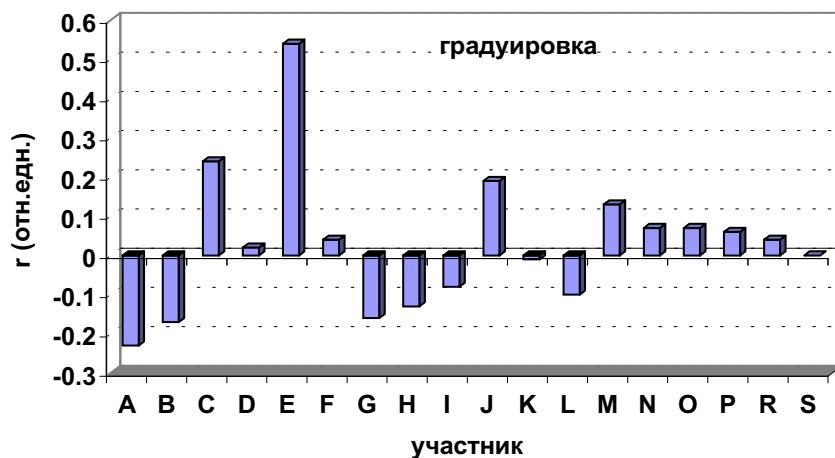


Рис. 2. Отношение значений градуировки дозиметров участников сличения к градуировке организаторов.

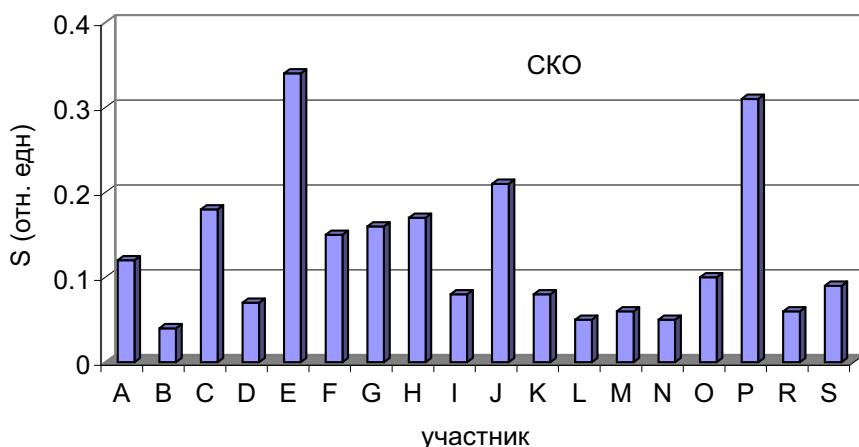
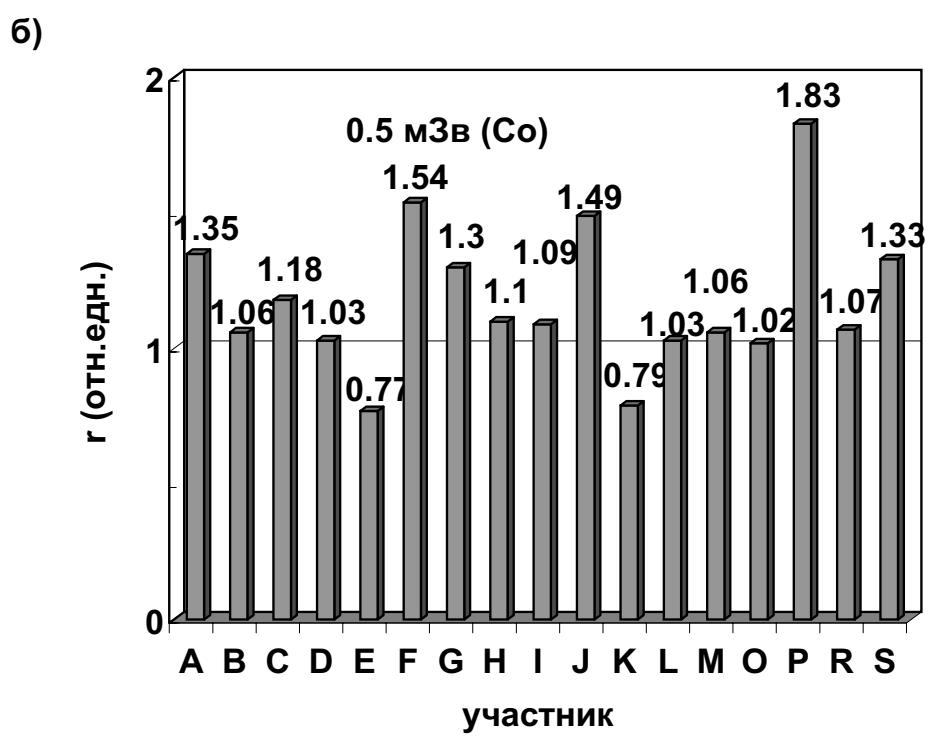
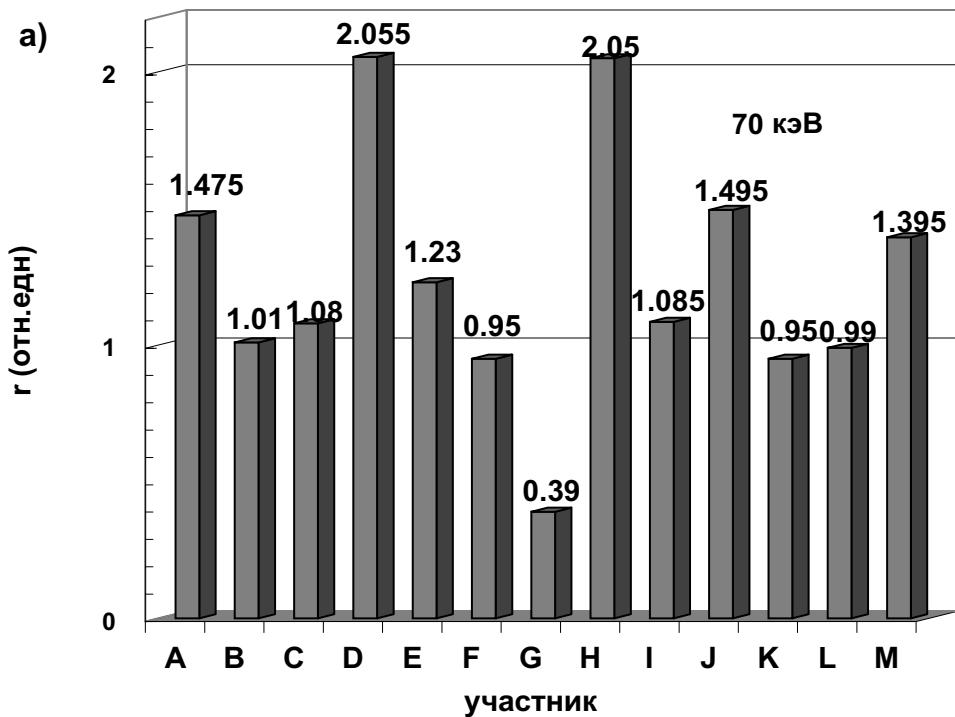
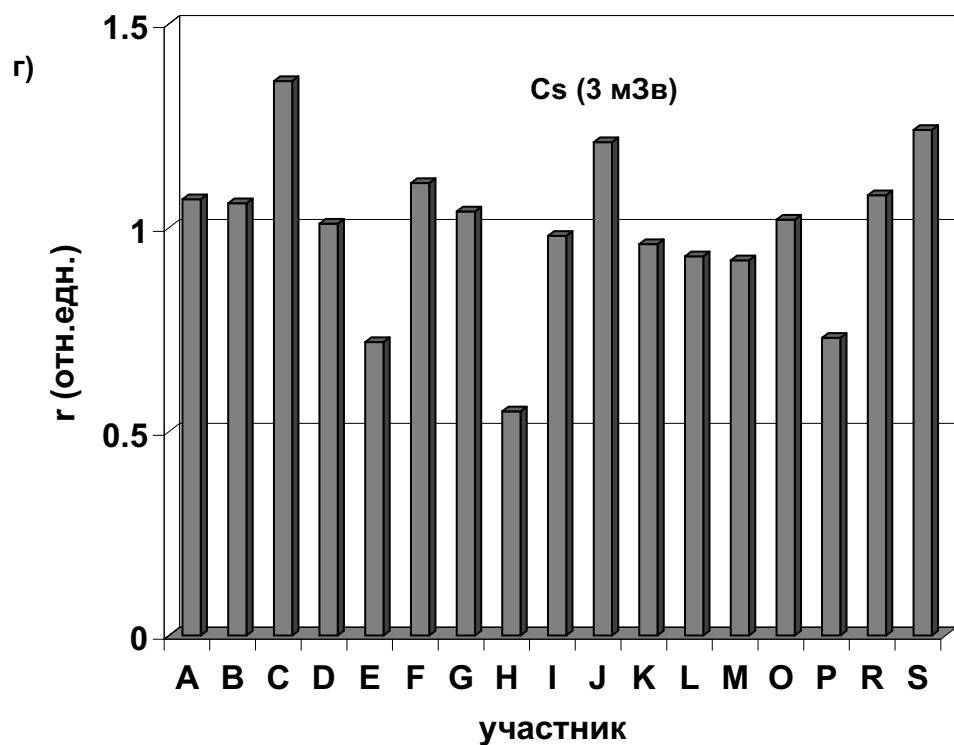
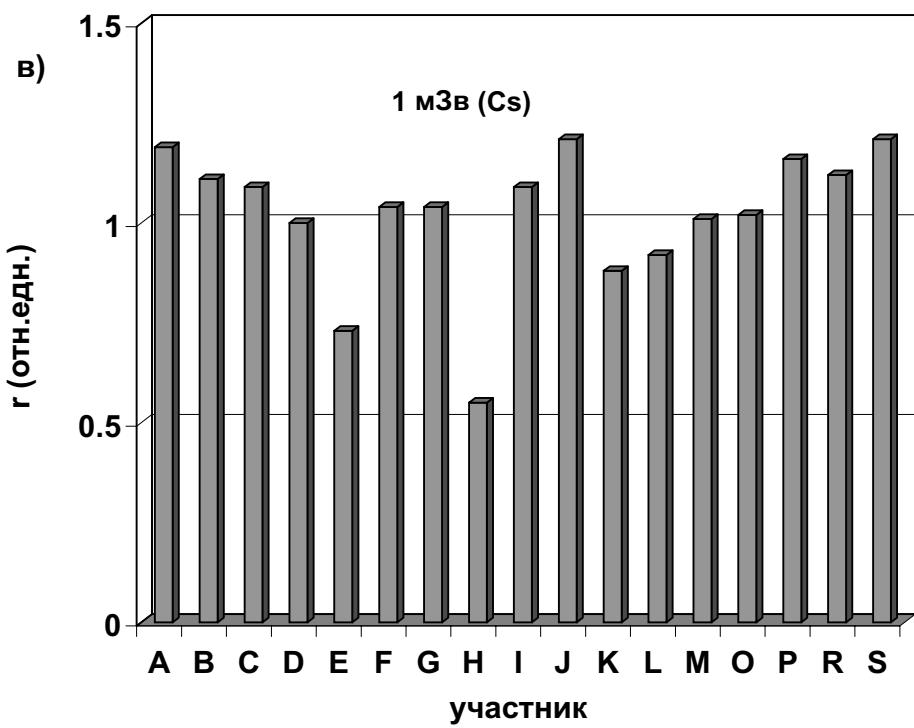


Рис. 3. Среднеквадратичное отклонение единичного измерения для случая облучения Cs^{137} .





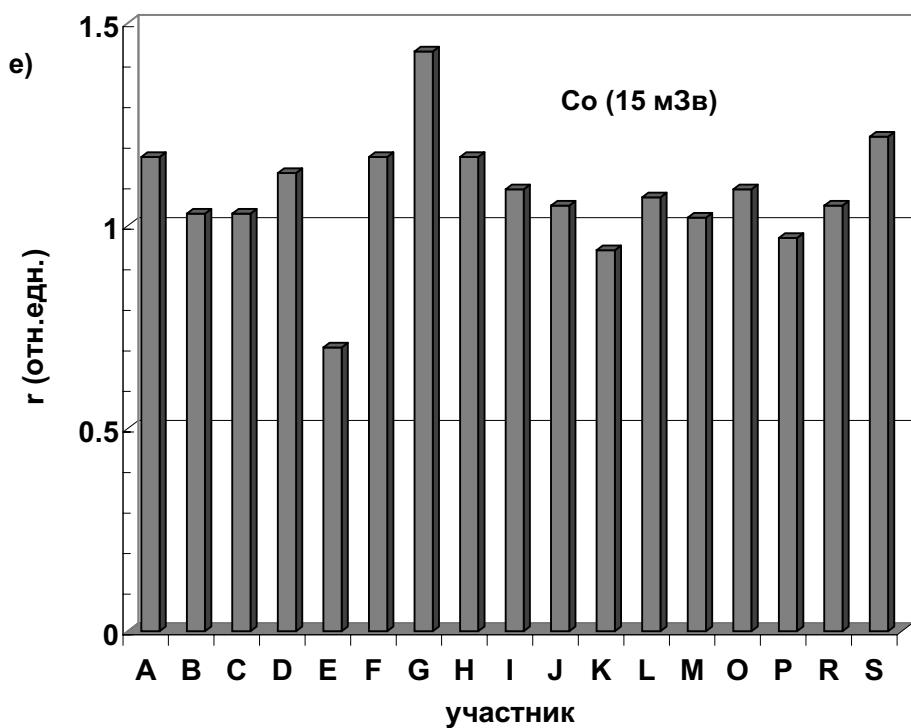
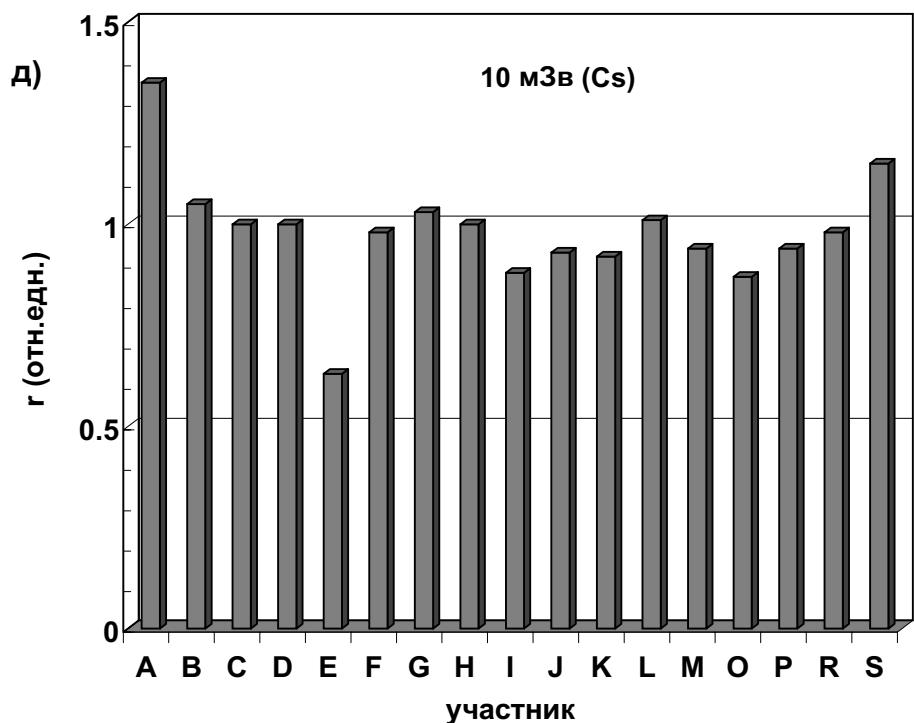


Рис. 4. Результаты измерения: а) 70 кэВ; б) Со, 0,5 мЗв; в) Cs, 1 мЗв; г) Cs, 3 мЗв; д) Cs, 10 мЗв; е) Со, 15 мЗв.

4. Анализ результатов сличения

Основные точностные требования к системам ИРК внешнего облучения фотонами формулируются в ЕТ ИРК-86 следующим образом:

- основная погрешность измерения не хуже 15% (0,95) на верхней границе диапазона, не хуже чем на множитель 2 — на нижней границе диапазона измерения;
- энергетическая зависимость чувствительности выше 20 кэВ — не более 15%;
- анизотропия — не более 10% выше 150 кэВ, не более 25% ниже 150 кэВ.

МАГАТЭ в последних публикациях рекомендует использовать коридор допустимых погрешностей в виде функциональных зависимостей, в котором должны находиться 95% результатов измерений:

$$H_{max}/H = 1,5 \cdot [1 + H_0/(2H_0 + H)], \quad (2)$$

$$H_{max}/H = \begin{cases} 0, & H \leq H_0, \\ [1 - 2H_0/(H_0 + H)]/1.5, & H \geq H_0. \end{cases} \quad (3)$$

Здесь H_0 — это минимальная измеряемая доза, определяющаяся соотношением

$$H_0 = \frac{\text{период контроля (мес.)}}{12} \times 1 \text{ мЗв}. \quad (4)$$

Коридор допустимых погрешностей включает все источники ошибок без их разделения. Эти зависимости показаны на рис.5.

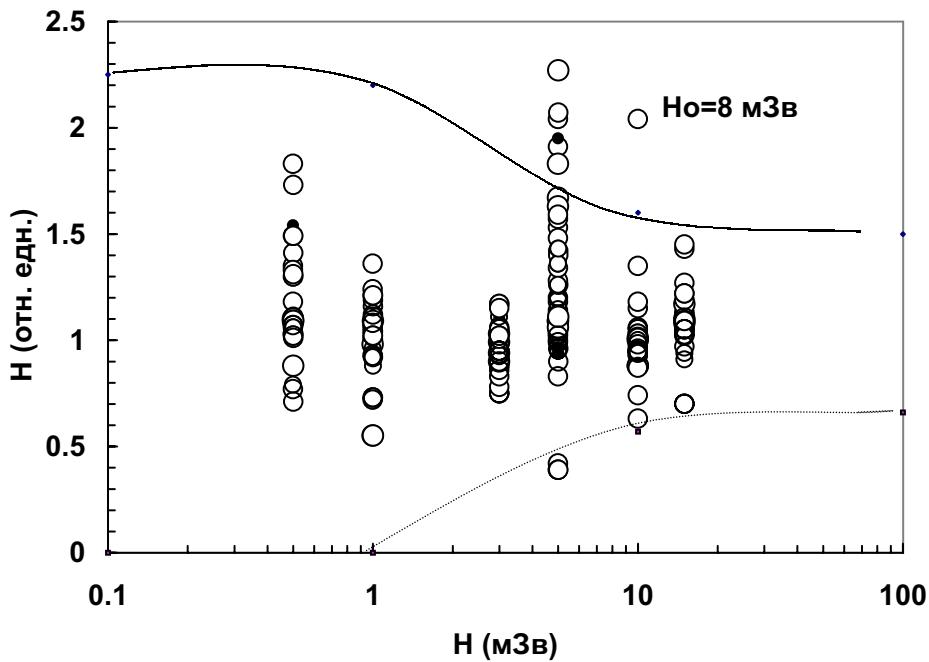


Рис. 5. Результаты сличения и коридор допустимой погрешности.

Полученные результаты показывают, что большинство систем ИРК по тем или иным параметрам не соответствуют как требованиям ЕТ ИРК-86, так и рекомендациям МАГАТЭ. Погрешность измерения доз в полях Cs-137 и Со-60 можно рассматривать в качестве основной погрешности, которая в соответствии с ЕТ ИРК-86 при дозах порядка 10 мЗв не должна превышать 15%. Только половина участников не выходят за рамки этих требований при дозах $H_0 \geq 8$ мЗв. У другой половины участников наблюдаются как систематические отклонения результатов измерений от измеряемых величин в полях Cs-137 и Со-60 (от 0,77 до 1,54), так и большие погрешности однократного измерения.

Наибольшие ошибки измерений имеют место в полях рентгеновского излучения (дозиметры 1-4, доза 5 мЗв). В этом случае наблюдаются завышения дозы, достигающие коэффициента 2,5, а также в одном случае систематическое занижение в три раза. Для выявления систематических погрешностей, связанных с энергетической зависимостью чувствительности, были рассчитаны отношения средних значений чувствительности в поле рентгеновского излучения и в полях Cs-137 и Со-60. Эти данные представлены в систематизированном виде для различных типов систем ИРК в табл.4.

Таблица 4. Отношение чувствительности различных систем ИРК в поле рентгеновского излучения и в полях Cs-137 и Со-60

Система ИРК (детектор+кассета)	Число участников	$r(71 \text{ кэВ})/r(\text{Cs-Co})$
ТЛД 500К + ДТУ-02	5	1,24-1,97
ТЛД 500К + ДПГ-03	2	0,94-1,04
ДТГ-4 + (ДТА-01, ДПГ-2)	2	0,99-1,09
ТЛД-1011+ДТА-01	1	0,99
ТЛД-580 +ДПГ-03	1	1,17
ИС-7	1	0,99
ИФКУ	1	0,35

Из табл.4 можно видеть, что наиболее широко представленная в сличении система ИРК на основе ТЛД 500К + ДТУ-02 имеет плохую энергетическую зависимость чувствительности. Как показывает сравнение двух верхних строк в табл.4, причиной является, по-видимому, несоответствие кассеты-дозиметра и используемого детектора фотонов. Тот же детектор ТЛД 500К в кассете ДПГ-03 не обнаруживает хода с жесткостью. Второй системой ИРК с неудовлетворительным ходом с жесткостью является ИФКУ, систематически занижающая дозу рентгеновского излучения в 3 раза.

Заключение

Результаты сличения подтвердили сделанные выше утверждения, что система сертификации и метрологических служб не всегда обеспечивает соблюдение требуемых технических характеристик используемых средств измерения ИРК. Несмотря на достаточно простую программу, полученные результаты позволяют сделать ряд важных выводов о состоянии ИРК внешнего фотонного излучения и о мерах по устранению выявленных недостатков.

- Сравнение различных систем ИРК показывает более высокую надежность тканеэквивалентных детекторов фотонов, особенно ДТГ-4. Необходима тщательная проверка систем ИРК на основе ТЛД 500К в кассетах ДТУ-02 и, возможно, замена

последних. Метод ИФКУ на основе рентгеновской пленки показал себя наименее достоверным среди использующихся дозиметров как с точки зрения статистической погрешности измерений, так и хода с жесткостью.

- Анализ анкет, присланных участниками сличения, обнаруживает удивительное разнообразие методик градуировки. Это приводит, как указано выше, к систематическому отклонению результатов измерений в полях фотонов Cs-137 и Со-60 от -23% до +54% у разных участников (Рис.2). На наш взгляд, в этом вопросе необходима стандартизация, особенно в связи с переходом на НРБ-96 и использованием новых дозиметрических величин.
- Выводы проведенного сличения следует рассматривать как предварительные. Для более обоснованных заключений необходимо проведение повторного сличения с расширенным диапазоном энергий фотонов и углов облучения и участников сличения. Такое сличение позволит более точно выявить недостатки в ИРК фотонного излучения на предприятиях Министерства и спланировать организационные и технические мероприятия для их устранения. Безусловно необходимо расширить программу сличения, добавив нейтронное и бета-излучения. Возможно изменение и характера проведения сличения. В данном сличении участники знали о сличении (объявленный тест) и могли использовать дополнительные процедуры (отдельную методику измерений, специальный отбор детекторов, индивидуальную градуировку и т.д.). В зарубежной практике распространение получили и необъявленные тесты, когда служба ИРК не знает о том, какие дозиметры используются для контроля, что исключает использование дополнительных процедур. Такие тесты позволяют получать информацию о состоянии службы ИРК в целом.
- По-видимому, актуальной проблемой является создание системы контроля качества систем ИРК на предприятиях Министерства. На первом этапе такую роль могут выполнять периодические сличения, проводимые, например, раз в два года.

Авторы благодарят В.Н. Ставрина, Б.А. Безрукова, И.В. Долженкова за поддержку и помочь в проведени сличения.

Работа выполнена в рамках программы работ Департамента безопасности и чрезвычайных ситуаций Минатома РФ по переходу на НРБ-96/99.

Список литературы

- [1] Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99)// АНРИ 2(17) 1999.
- [2] Julius H.W., Van Dijk J.W.E. // Rad.Prot.Dos., 1999, vol.85, № 1/4, pp.1-6.
- [3] Bartlett D. // Newsletter, European Radiation Protection Research, 1999, № 5.
- [4] Головачик В.Т. и др. — Препринт ИФВЭ 90-98, Протвино, 1990.
- [5] Kim J.L. et.al // Rad.Prot.Dos., 1999, vol.85, № 1/4, p.153.
- [6] Gustafsson M., Griffith R.V. The material of 1-st Research Meeting on Intercomparison for Individual Monitoring of External Exposure from Photon Radiation, Vienna, 26-28 May 1997.

Рукопись поступила 14 января 2000 г.

Приложение

Список участников сличения Compar-98

1. Балаковская АЭС
2. Белоярская АЭС
3. Билибинская АЭС
4. Калининская АЭС
5. Кольская АЭС
6. Курская АЭС
7. Ленинградская АЭС
8. Нововоронежская АЭС
9. Смоленская АЭС
10. АООТ «Машиностроительный завод»
11. ПО «Маяк»
12. Ангарский электролизный химический комбинат
13. Сибирский химический комбинат
14. ГНЦ РФ НИИАР
15. ГНЦ РФ «Физико-энергетический институт»
16. НТЦ «Практика»

А.Г.Алексеев и др.

Сличение индивидуальных дозиметров фотонного излучения (Compar-98).

Оригинал-макет подготовлен с помощью системы L^AT_EX.

Редактор Л.Ф.Васильева.

Технический редактор Н.В.Орлова.

Подписано к печати 18.01.2000 г. Формат 60 × 84/8. Офсетная печать.

Печ.л. 1,5. Уч.-изд.л. 1,2. Тираж 130. Заказ 32. Индекс 3649.

ЛР №020498 17.04.97.

ГНЦ РФ Институт физики высоких энергий
142284, Протвино Московской обл.

Индекс 3649

ПРЕПРИНТ 2000-1, ИФВЭ, 2000
