

94-178



СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

P16-94-178

М.М.Комочков, Ю.В.Мокров

ИНДИВИДУАЛЬНЫЙ ДОЗИМЕТРИЧЕСКИЙ
КОНТРОЛЬ В ОИЯИ

1994

1. ИСТОЧНИКИ ИЗЛУЧЕНИЙ В ОИЯИ

Индивидуальный дозиметрический контроль (ИДК) проводится в ОИЯИ для определения доз внешнего облучения персонала с целью выявления степени радиационного риска при профессиональном облучении, возможностей его снижения и предупреждения переоблучений.

В ОИЯИ используются разнообразные источники излучений: от ампулированных радионуклидных источников до реакторов и ускорителей частиц на высокие энергии [1]. Сотрудники, работающие на ядерно-физических установках (ЯФУ), подвергаются воздействию сложного по компонентному составу излучения широкого энергетического диапазона, изменяющегося во времени и пространстве. Основными видами излучений, дающими вклад в дозу облучения персонала при работе за защитой ЯФУ и в полях их излучений, являются нейтроны с энергией от тепловых до сверхбыстрых, фотоны и заряженные частицы, рентгеновское излучение от электровакуумных приборов с напряжением более 10 кВ.

По фотонам основной вклад в дозу дает гамма-излучение от наведенной активности, облучаемость персонала при этом обусловлена необходимостью проведения ремонтных работ на ускорителях и реакторах [2]. При работающих установках основной вклад в дозу облучения дают нейтроны.

2. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИДК

Для определения индивидуальных доз внешнего облучения используются индивидуальные дозиметры на основе кассеты ИФК-2,3. Максимальная поглощенная доза фотонного излучения регистрируется с помощью термолюминесцентных детекторов (ТЛД) ТЛД-400, располагающихся под открытым окном кассеты. Диапазон измерения доз составляет 10^{-2} – 10^5 рад (10^{-4} – 10^3 Гр). Погрешность измерения в энергетическом диапазоне 100 кэВ — 3 МэВ составляет не более 40%, для меньших энергий она возрастает.

Поглощенная доза бета-излучения определяется по показаниям рентгеновской пленки ORWO-RD-3,4, которая вкладывается в дозиметры тех сотрудников, кто может работать с таким излучением (их в ОИЯИ не более

60 человек). Диапазон измеряемых доз 0,02—15 рад ($2 \cdot 10^{-4}$ — $15 \cdot 10^{-2}$ Гр). Погрешность измерения доз бета-излучения в интервале энергий 0,12—3 МэВ составляет 40%, а при наличии рентгеновского излучения она может достигать 1,5 и более раз [3].

Эквивалентная доза нейтронов определяется по числу треков и звезд в ядерной эмульсии МК-20 толщиной 20 мкм, помещенной в корректирующем пакете в свободную полость кассеты ИФК-2,3 — так называемый метод ИФКн [4,5]. В этом методе используется методика коррекции показаний в зависимости от условий облучения сотрудников: в полях реакторов и ускорителей многозарядных ионов [6,7] (где отсутствуют сверхбыстрые адроны) или в полях ускорителей частиц на высокие энергии (где они присутствуют). В условиях, где вклад релятивистских адронов в полную дозу не превышает 5%, метод ИФКн позволяет измерять эквивалентную дозу нейтронов в пределах 0,01—100 бэр (10^{-4} —1 Зв) при энергии от тепловых до 20 МэВ. При большем вкладе верхний предел измерений уменьшается. Погрешность измерения доз зависит как от величины измеряемой дозы, так и от условий, в которых облучался дозиметр. Так, при облучении дозиметра за защитой реакторов и ускорителей многозарядных ионов и дозах около 0,5 бэр она составляет 50—60%. При определении доз облучения персонала за защитой ускорителей частиц высоких энергий погрешность может оцениваться коэффициентом 2 [4].

При проведении ремонтных работ в зонах повышенного риска сотрудники получают индивидуальные дозиметры КИД-2 или ДК-0,2, а при проведении аварийно-опасных работ на реакторах — дозиметры ИКС-4.

Для определения доз облучения кистей рук применяются перстни, которые оснащены тонкими ТЛД на основе $\text{CaSO}_4(\text{Dy})$, изготовленными в ОРБИРИ. Толщина детекторов 0,1 мм. Их чувствительность, определяемая как отношение показаний в нКл к величине $\text{Hr}(10)$ для гамма-излучения кобальта-60 и к величине $\text{Hr}(0,07)^*$ [8] для бета-излучения стронция-90 + иттрия-90, примерно одинакова. Нижний предел измерения составляет 0,02 рад ($2 \cdot 10^{-4}$ Гр) при погрешности 50%, верхний предел 10^4 рад (10^2 Гр), диапазон энергий 0,2—3 МэВ.

Доза облучения всего тела определяется как сумма максимальной эквивалентной дозы фотонного излучения и максимальной эквивалентной дозы нейтронов в фантоме при внешнем облучении. Дозы облучений кожи, хрусталика и конечностей не суммируются. Для нейтронов различных энергетических спектров в ОИЯИ величины доз, определенные с использо-

* $\text{Hr}(10)$ и $\text{Hr}(0,07)$ — эквивалентная доза в мягкой ткани тела на глубине 10 и 0,07 мм соответственно.

ванием удельной эквивалентной дозы (сумма максимумов доз), превышают эквивалентные дозы в максимуме глубинных распределений (максимум суммы доз) не более чем на 30% [9].

В ОРБиРИ в течение ряда лет проводятся работы по исследованию характеристик и внедрению в практику ИДК дозиметров, оснащенных ТЛД [10,11]. Прежде всего, это разработка конструкций, изготовление опытных партий и исследование в реальных условиях эксплуатации двух вариантов прототипа [12] нового комбинированного индивидуального дозиметра. Во всех своих модификациях он представляет собой альбедный дозиметр нейтронов с двумя парами ТЛД на основе ^6LiF и ^7LiF , на поверхности которого предусмотрено размещение за слоем 7 мг/см^2 тонкого ТЛД для регистрации кожной дозы бета-излучения и других детекторов, например, трекового или пленки МК-20 в корректирующем пакете. Доза гамма-излучения в таком дозиметре определяется по показаниям детектора ^7LiF внутренней пары. Пленочный или трековый детектор служат, с одной стороны, в качестве дополнительного для регистрации быстрых и сверхбыстрых нейтронов, с другой — для дублирования показаний альбедного дозиметра в сложных случаях (регистрация больших доз, аварийное или непредвиденное облучение, необходимость получения детальной информации и ее документального подтверждения и т.п.). В настоящее время разработан третий вариант конструкции дозиметра, в котором учтены недостатки, отмеченные в процессе эксплуатации двух первых вариантов дозиметра. Изготовлены его рабочие чертежи и макет в натуральную величину.

В течение ряда лет в ОИЯИ дополнительно проводится контроль небольшой части персонала с помощью альбедных дозиметров опытной партии.

В 1992 г. в проведении ИДК по фотонному излучению осуществлен переход от фотографического метода к термолюминесцентному (с пленки ORWO на ТЛД-400). Кроме того, детекторы ТЛД-400 позволяют определять дозы смешанного гамма- и нейтронного излучения при малых их значениях с помощью экспериментально найденных коэффициентов. Показания с ТЛД определяются на приборах фирмы Harshow 2000(A + B), которые работают на линии с двумя персональными компьютерами. В компьютерах проводится обработка полученного с прибора сигнала и рассчитывается значение дозы в соответствии с заданным алгоритмом.

Для хранения, статистической обработки и представления дозиметрической информации создан банк данных ИДК на персональном компьютере, основными компонентами которого являются база данных (БД) и пакет прикладных программ для автоматизированного управления данными [13].

Дозы сотрудников до 1989 г. представлены в БД интегральными значениями по видам излучений, а с 1989 г. подробным распределением доз по видам излучений (нейтроны, гамма- и бета-излучения) за различные

периоды контроля (ежемесячные, ежеквартальные и годовые дозы для всего персонала). В файле «Персонал» находятся данные о сотрудниках, стоящих на ИДК (номер дозиметра, фамилия, имя, отчество, год рождения, подразделение, пол, первая дата постановки на ИДК). В файле «Архив» находятся аналогичные данные об уволившихся или снятых с ИДК сотрудниках. Связь данных по одному сотруднику, которые содержатся в разных файлах, осуществляется по номеру дозиметра, который уникален для каждого сотрудника и имеется в каждом файле БД. Все файлы индексированы по номеру дозиметра, а файлы «Персонал» и «Архив» еще и по фамилии сотрудника.

Информация об облучаемости может быть представлена в шести традиционных формах:

1. *Справка об облучении* — содержит накопленные дозы за текущий год, дозы за последний квартал (или месяц) для трех видов излучения.

2. *Дозиметрическая карта* — содержит распределение доз по годам для каждого сотрудника и накопленную дозу за весь период контроля.

3. *Дозиметрическая карта* — содержит распределение доз по кварталам или месяцам в зависимости от периода контроля.

4. *Справка из архива* — дает интегральные дозы по видам излучения за весь период от первой постановки на ИДК и до последнего снятия с контроля.

5. *Статистический отчет по принятой форме* — содержит информацию по подразделениям о числе контролируемых лиц, о коллективных и средних дозах за отчетный период, о количестве лиц, получивших дозу выше 1,5 бэр.

6. *Статистический отчет о распределении доз облучения* — даст долю сотрудников каждого подразделения, получивших годовые дозы выше заданной величины (от 0 до 2 бэр с шагом 0,1 бэр и от 2 до 5 бэр с шагом 0,2 бэр).

3. МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИДК

Одной из задач метрологического обеспечения является передача размеров величин, используемых в ИДК, от государственных эталонов к рабочим средствам измерений с помощью образцовых приборов и источников.

Градуировка и поверка ТЛД по гамма-излучению проводится на аттестованной поверочной установке по образцовым источникам кобальт-60 в соответствии с методическими указаниями [14]. В соответствии с [14] средства измерений с основной погрешностью выше 15% допускаются поверять без тканезквивалентного фантома, поэтому ТЛД поверяются без него. При этом используются рекомендованные [15] коэффициенты перехода от

экспозиционной дозы к максимальной поглощенной дозе в полубесконечном фантоме из вещества, эквивалентного мышечной ткани. Численное значение коэффициента равно $0,967 \cdot 10^{-2}$ Гр/Р (0,967 рад/Р).

Дозиметры ИФКн градуируются по источникам из калифорния-252 (для дозиметров, используемых в Лабораториях нейтронной физики и ядерных реакций) и $^{239}\text{Pu}-\text{Be}$ (для остальных лабораторий). Регулярная градуировка проводится без фантома при нормальном падении нейтронов на дозиметры. Для каждого типа источников определены поправочные коэффициенты: для перехода от условий нормального облучения к изотропному в горизонтальной плоскости (равен 0,82 для калифорния-252 и 0,75 для $\text{Pu}-\text{Be}$) и для учета разницы в чувствительности дозиметра при градуировке на фантоме и без него (равен 1,1 для источников обоого типа). Они используются при определении градуировочных коэффициентов $A_{\text{гр}}$ дозиметров по формуле:

$$A_{\text{гр}} = \frac{H_{\text{max}} \cdot \Phi}{N_{\text{гр}} \cdot K1 \cdot K2}, \quad (1)$$

где H_{max} — максимальная удельная эквивалентная доза для градуировочного источника, $\text{Зв} \cdot \text{м}^2/\text{нейтр.}$; Φ — флюенс нейтронов при градуировке, $\text{нейтр.}/\text{м}^2$; $K1$ и $K2$ — упомянутые выше поправочные коэффициенты; $N_{\text{гр}}$ — число трексов на 1 траверсе (площадью $0,0225 \text{ см}^2$) градуировочной пленки, усредненное по всем просмотрам несколькими лаборантами за вычетом фона.

Для перехода к максимальной эквивалентной дозе в тканеэквивалентном фантоме от флюенса нейтронов при их нормальном падении на фантом используются коэффициенты по ГОСТ 25935-83 [15]: для калифорния-252 он равен $33 \cdot 10^{-15} \text{ Зв} \cdot \text{м}^2/\text{нейтр.}$ ($33 \cdot 10^{-13} \text{ бэр} \cdot \text{м}^2/\text{нейтр.}$); для $\text{Pu}-\text{Be}$ он равен $36 \cdot 10^{-15} \text{ Зв} \cdot \text{м}^2/\text{нейтр.}$ ($36 \cdot 10^{-13} \text{ бэр} \cdot \text{м}^2/\text{нейтр.}$).

Градуировка рентгеновской пленки по бета-излучению проводится с помощью источников $\text{Sr-90} + \text{Y-90}$ путем наложения источника на пленку в светонепроницаемом пакете толщиной около $24 \text{ мг}/\text{см}^2$. Источники аттестованы НПО «ВНИИМ им.Д.И.Менделеева» с погрешностью 10% по мощности поглощенной дозы бета-излучения в тканеэквивалентном веществе за слоем $7 \text{ мг}/\text{см}^2$ при контакте с поверхностью источника.

ТЛД, как правило, используются в индивидуальной дозиметрии либо с различными фильтрами [16], либо под слоем тканеэквивалентного или замещающего его вещества толщиной 10 мм для измерения эквивалентной

дозы проникающего излучения $\text{Hr}(10)$ [17]. В используемых же кассетах ИФК-2,3 детекторы располагаются под открытым окном, что может привести к дополнительной погрешности при измерении $\text{Hr}(10)$. Однако, наибольшее завышение этой величины приходится на диапазон энергий от 20 кэВ до 100 кэВ, как видно из работы [16] и из результатов сличения индивидуальных дозиметров в МАГАТЭ. Но этот диапазон энергий не типичен для облучения персонала ОИЯИ, основной вклад в которое от фотонного излучения дает гамма-излучение наведенной активности с наиболее характерными энергиями от 0,8 МэВ до 1,3 МэВ, при которых отсутствие фильтров или тканезквивалентного покрова над детектором скажется незначительно (завышение дозы не более чем на 10% по данным [16]).

Международными организациями, в частности [17], введены новые дозиметрические величины, отличные от принятых в НРБ-76/87. Там же рекомендованы новые пределы по эффективной дозе. Возможное полное или частичное использование этих рекомендаций в практике радиационного контроля (и в ИДК) ставит немало вопросов, в том числе по использованию индивидуальной дозы проникающего излучения $\text{Hr}(10)$ и по переходу от одних контролируемых величин, основанных на концепции максимальной эквивалентной дозы, к другим, основанным на эффективной эквивалентной дозе.

Подробно вопросы, связанные с величинами, рекомендованными в [17], как и переход от одних к другим с учетом их предельных значений, рассмотрены в работе [19]. Необходимо лишь отметить, что использование имеющихся средств ИДК для измерения величин, рекомендованных [17] для индивидуального дозконтроля, принципиальных трудностей не встретит, но потребует некоторых переделок дозиметров, например покрытия ТЛД слоем тканезквивалентного вещества толщиной 10 мм для измерения $\text{Hr}(10)$. То же можно сказать и о метрологическом обеспечении, в частности о градуировке дозиметров, которую необходимо проводить на фантоме. Однако, эти вопросы требуют специального рассмотрения.

4. ОБЛУЧАЕМОСТЬ ПЕРСОНАЛА ОИЯИ

По состоянию на 1994 г. на ИДК в ОИЯИ стоит около 2200 человек, в том числе около 140 прикомандированных сотрудников. Большая часть персонала работает только в контролируемых зонах и обменивает дозиметры один раз в квартал. Сотрудники, которые по роду своей деятельности могут находиться в зонах спецдопуска (в основном, это ремонтный персонал и сотрудники отделов эксплуатации реакторов и ускорителей), где возможно непредвиденное облучение дозой выше 5 бэр, обменивают дозиметры ежемесячно.

Около 600 человек контролируется только по фотонному излучению, причем 450 из них обменивают дозиметры ежеквартально, а 150 человек ежемесячно. По нейтронному и фотонному излучениям контролируется 1600 человек, из них 130 обменивают дозиметры ежемесячно, остальные — ежеквартально. На контроле по бета-излучению стоит около 60 человек, в основном, это радиохимики и сотрудники отдела фазотрона и группы ионных источников циклотронов.

Таким образом, в течение года проходят обработку около 8000 пленок МК-20, 10000 ТЛД и 700 рентгеновских пленок.

Средняя доза облучения персонала в последние годы мало меняется и находится на уровне 0,2 бэр (2 мЗв) в год. На рис. 1 представлены результаты распределения средних \bar{H} и коллективных H_{Σ} доз по годам. Число сотрудников, годовая доза которых находится на уровне нижнего предела регистрации (около 100 мбэр в год), составляет около 50%. Максимальные дозы облучения за последние годы составляют 3—4 бэр и наблюдаются лишь у нескольких человек, не было случаев превышения предельно допустимой дозы 5 бэр и контрольных уровней годовых доз внешнего облучения. На рис. 2 представлены распределения доз облучения персонала — число лиц в %, получивших годовую дозу в пределах от 0 до заданного значения (отложено по оси абсцисс) Нз.

Распределения доз облучения близки к логарифмически нормальному (стандартное распределение со средней дозой 0,5 бэр в год и вероятностью получения доз более 5 бэр в 0,01 % представлено на рисунке прямой линией). Эти распределения по сравнению со стандартными испытывают влияние так называемого «эффекта дозовых пределов», снижающего вероятность

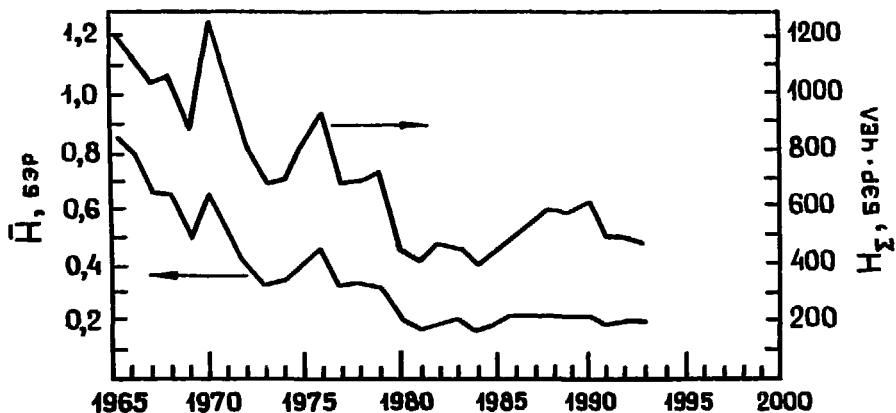


Рис. 1. Среднегодовые (\bar{H}) и коллективные (H_{Σ}) дозы облучения сотрудников ОИЯИ

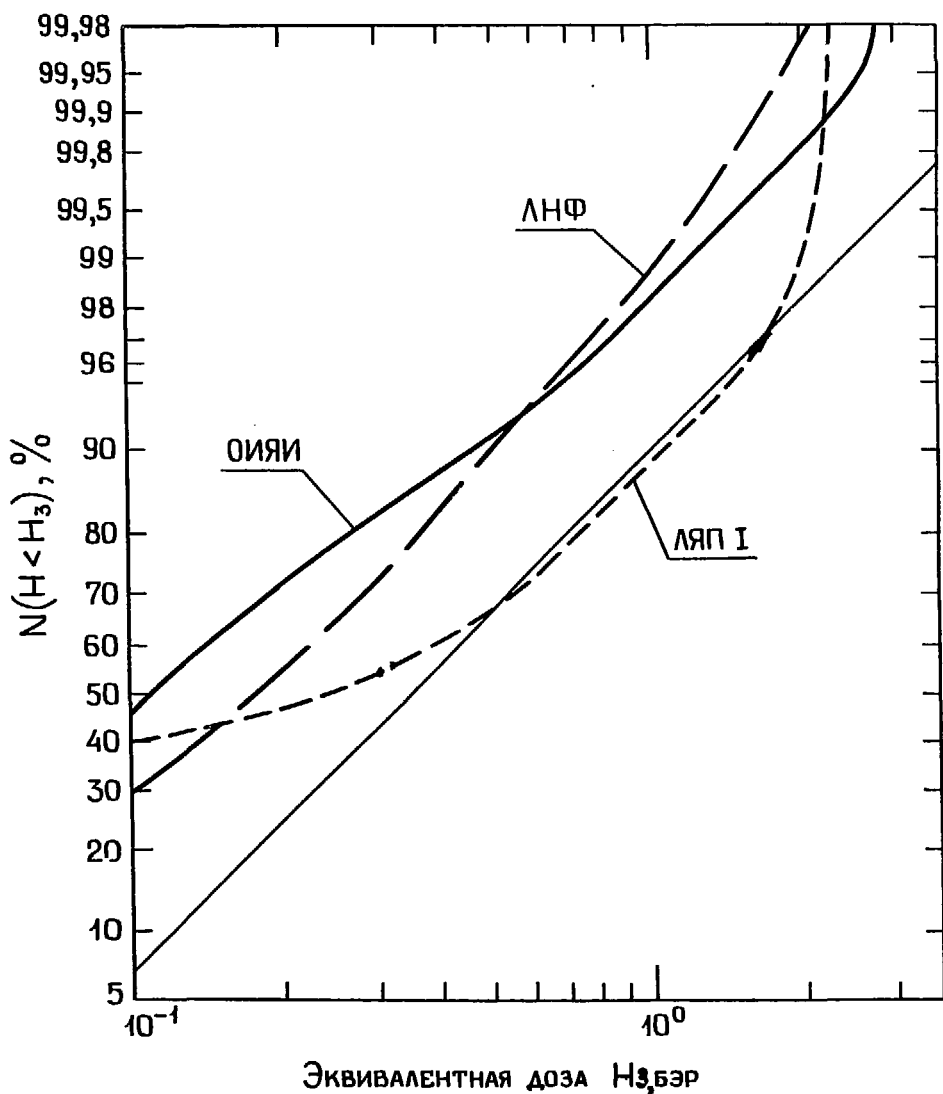


Рис.2. Распределение доз облучения персонала за 1992 год

получения доз более 5 бэр и повышающих вероятность получения доз до 5 бэр. Как видно из распределений, наиболее облучаемой частью персонала является I группа Лабораторий ядерных проблем и нейтронной физики, т.е. сотрудники, занятые на ремонтных и профилактических работах на фазотроне и на реакторах.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Используемые в ОИЯИ средства ИДК позволяют, как правило, с приемлемой [18] точностью измерять дозы облучения, обусловленные полями излучений за защитой установок ОИЯИ. Тем не менее, по-прежнему остается актуальным вопрос о модернизации средств и методов ИДК. Наиболее перспективными здесь являются термолюминесцентный и трековый методы, хотя в обозримом будущем невозможно отказаться от фотографического метода определения доз облучения по нейтронам как наиболее разработанного и доступного.

С точки зрения приборного обеспечения наиболее предпочтительным для дальнейшего развития ИДК представляется сочетание средств на основе промышленной автоматизированной системы считывания и обработки информации с дозиметров, оснащенных ТЛД, для контроля основной массы персонала и использование комбинированных индивидуальных дозиметров, описанных выше, для контроля наиболее облучаемой его части.

ЛИТЕРАТУРА

1. Комочков М.М. — ОИЯИ, Р16-91-459, Дубна, 1991.
2. Комочков М.М., Лебедев В.Н. — Практическое руководство по радиационной безопасности на ускорителях заряженных частиц. М.: Энергоатомиздат, 1986.
3. Козлов В.Ф. — Фотографическая дозиметрия ионизирующих излучений. М.: Атомиздат, 1964.
4. Дозиметрический и радиометрический контроль. Под общей редакцией В.И.Гришмановского. М.: Энергоиздат, 1981, т.2, с.9.
5. Комочков М.М., Салацкая М.И. — ОИЯИ, Р16-9780, Дубна, 1976.
6. Алейников В.Е. и др. — ОИЯИ, Р16-12122, Дубна, 1979.
7. Комендантова Г.А. и др. — ОИЯИ, 16-12858, Дубна, 1979.
8. ICRU. International Commission on Radiation Units and Measurements, Measurement of Dose Equivalents from External Photon and Electron Radiations, ICRU Report 47, ICRU, Bethesda, Maryland, USA, 1992.
9. Бучнев В.Н. и др. — ОИЯИ, Р16-86-491, Дубна, 1986.
10. Касканов Г.Я. и др. — ОИЯИ, 16-83-212, Дубна, 1983.
11. Касканов Г.Я., Комочков М.М. — ОИЯИ, 16-83-452, Дубна, 1983.
12. Касканов Г.Я. и др. — ОИЯИ, 16-84-804, Дубна, 1984.
13. Бучнев В.Н., Крячко А.П. — ОИЯИ, 16-90-482, Дубна, 1990.
14. РД 50-444-83, М.: Изд-во стандартов, 1984.
15. ГОСТ 25935-83. Приборы дозиметрические. Методы измерения основных параметров. М.: Изд-во стандартов, 1984.

16. Strom E. et al. — In: Nat. Stand. Proc. Int. Symp., Atlanta, 1977.
17. ICRP. Pub.60. Annals of the ICRP, v.21, No.1—3, Pergamon Press, Oxford, 1991.
18. ГОСТ 27451-87. Средства измерений ионизирующих излучений. Общие технические условия. М.: Изд-во стандартов, 1988.
19. Комочков М.М. — ОИЯИ, Р16-92-190, Дубна, 1992.

Рукопись поступила в издательский отдел
13 мая 1994 года.