

# Измерение индивидуальных эквивалентных доз облучения кожи и хрусталика глаз персонала Балаковской АЭС

Выполнены измерения мощностей направленных эквивалентов дозы  $H'(0,07)$ ,  $H'(3)$ , амбиентного эквивалента дозы для условий работ персонала Балаковской АЭС. На основе результатов делается оценка необходимости введения инструментального контроля облучения хрусталика глаза в случае возможного уменьшения дозового предела.

## **Ключевые слова:**

*направленный эквивалент дозы, индивидуальный эквивалент дозы, бета-излучение, дозиметр, реактор, АЭС.*

**А.Г.Алексеев<sup>1</sup>, Г.И.Бритвич<sup>1</sup>,  
В.А.Пикалов<sup>1</sup>, П.А.Алексеев<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> «НИЦ Курчатовский институт» – ИФВЭ,  
г. Протвино Московской обл.

<sup>2</sup> АО «ГНЦ РФ-ФЭИ», г. Обнинск Калужской обл.

В основных документах по нормам безопасности [1,2] кроме годовых эффективных доз персонала и населения нормируются годовые эквивалентные дозы облучения хрусталика глаза и кожи. Публикация обновленных рекомендаций [3-5] по методическому обеспечению радиационного контроля в атомной отрасли вызвала необходимость уточнения и актуализации методик измерения, используемых на предприятиях отрасли. Данная работа рассматривает методические вопросы измерения индивидуальных эквивалентных доз облучения хрусталика глаз и кожи и является продолжением публикаций [6,7] по методическим вопросам индивидуального дозиметрического контроля (ИДК) персонала Балаковской АЭС. Актуальность вопроса вызвана еще и тем, что международные рекомендации по дозовым пределам годо-

вых эквивалентных доз облучения хрусталика глаза [1] были снижены в 7,5 раз, и следует ожидать таких же изменений в отечественных нормативных документах. Цель разработки и использования методик измерения – обеспечить результат измерения с погрешностью (неопределенностью) не выше нормативных требований. В данной работе представлены результаты исследования некоторых параметров методики по измерению индивидуальных эквивалентных доз облучения в коже и хрусталике глаза персонала Балаковской АЭС.

### Метод измерения

В зависимости от того, для определения какой нормируемой величины используется индивидуальный эквивалент дозы  $H_p(d)$ , в соответствии с рекомендациями МКРЗ, МКРЕ и МАГАТЭ устанавливается значение параметра  $d$ , мм. Соответствие между нормируемыми и операционными величинами, используемыми в ИДК, представлено в табл.1 [3].

Оценка значений прогнозируемой эквивалентной дозы фотонного и бета-излучения в коже и хрусталике глаза при воздействии непрерывных полей ионизирующего излучения посредством контроля рабочих мест проводится измерением мощностей направленных эквивалентов дозы  $H'(0,07,\Omega)$ ,  $H'(3,\Omega)$ . В соответствии с рекомендациями МКРЗ, в практике радиационной защиты направление  $\Omega$  не устанавливается, потому что интерес

представляют  $H'(3)$ ,  $H'(0,07)$ , максимальные значения –  $H'(3,\Omega)$ ,  $H'(0,07,\Omega)$  [3].

Для текущего дозиметрического контроля на Балаковской АЭС используются: автоматизированные термолюминесцентные считыватели *Harshaw 6600 Lite* с дозиметрами:

- типа *DXT-RAD* для измерения индивидуальных эквивалентных доз облучения кожи рук  $H_p(0,07)$ ;
- 7776/8814 для измерения индивидуального эквивалента дозы хрусталика глаза  $H_p(3)$ .

Для измерения величин  $H'(3)$ ,  $H'(0,07)$  и  $H^{**}(10)$  (мощность амбиентного эквивалента дозы) в данной работе использовались следующие средства измерения (СИ):

- дозиметр *RAM ION* [8];
- для измерения  $H^{**}(10)$  – ДКС-АТ1121,
- для измерения плотности потока бета-частиц – ДКС-96 с блоком детектирования БДЗБ-96.

Для проверки калибровки индивидуальных дозиметров в единицах  $H_p(0,07)$  и  $H_p(3)$  использовался закрытый радионуклидный источник бета-излучения с радионуклидами стронций-90 + иттрий-90, предназначенными для поверки в качестве мер активности радионуклидов. Активность источника составляла  $2,53 \cdot 10^7$  Бк, внешнее бета-излучение  $9,4 \cdot 10^6$  1/с. Площадь рабочей поверхности источника – 10 см<sup>2</sup>. Было выполнено специальное исследование характеристик данного источника [9], что позволило провести калибровку индивидуаль-

**Табл.1.** Соответствие между нормируемыми и операционными величинами при ИДК.

Нормируемая величина	Операционная величина: индивидуальный эквивалент дозы		
	Положение индивидуального дозиметра	$d'$ , мм	Условное обозначение
Эквивалентная доза внешнего облучения кожи	Непосредственно на поверхности наиболее облучаемого участка кожи	0,07	$H_p(0,07)$
Эквивалентная доза внешнего облучения хрусталика глаза	На лицевой части головы <sup>2</sup>	3	$H_p(3)$

Примечания.

1 – глубина биологической ткани.

2 – допускается размещение дозиметра на передней поверхности головного убора, на верхней пуговице или воротнике спецодежды при стандартных условиях облучения.

**Табл.2.** Результаты измерения  $H_p(0,07)$  дозиметром DXT-RAD при облучении бета-излучением источника  $^{90}\text{Sr}+^{90}\text{Y}$ .

№ серии	Результат измерения $H_p(0,07)$ , мЗв	Эталон $H_p(0,07)$ , Зв	$X = H_p(0,07)/H_0(0,07)$ , отн. едн.	Условие облучения: см. примечание
1	68,10	63	1,08	1
2	44	63	0,70	1
3	54,54	63	0,87	1
4	26,65	21	1,27	2
5	18,82	21	0,90	2
6	19,81	21	0,94	2
7	21,37	20	1,07	3
8	20,10	20	1,01	3
9	22,09	26	0,85	4
10	25,17	26	0,97	4

Примечание.

1 – Облучение непосредственно на поверхности источника, 3 мин.

2 – Между поверхностью источника и дозиметром  $95 \text{ мг}/\text{см}^2$ , экспозиция 3 мин.

3 – Между поверхностью источника и дозиметром  $165 \text{ мг}/\text{см}^2$ , экспозиция 5 мин.

4 – Между поверхностью источника и дозиметром  $270 \text{ мг}/\text{см}^2$ , экспозиция 10 мин.

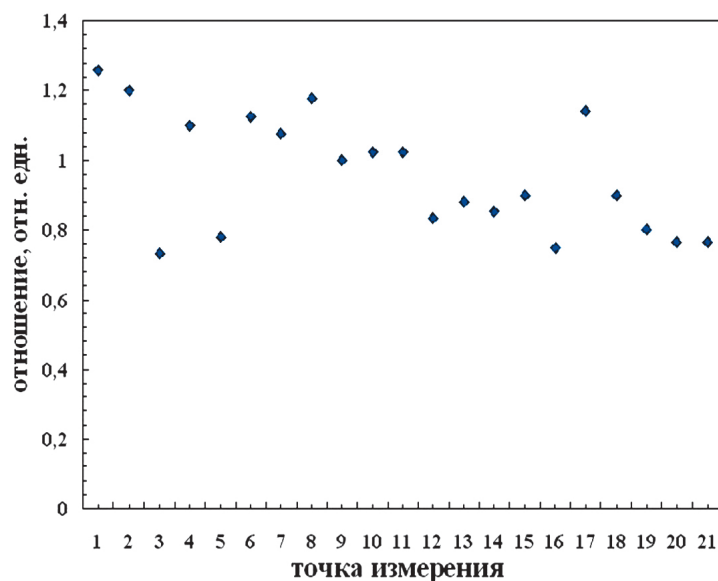
ных дозиметров в единицах  $H_p(0,07)$  и  $H_p(3)$  с погрешностью не хуже 7%.

Результаты облучения дозиметров DXT-RAD на источнике  $^{90}\text{Sr}+^{90}\text{Y}$  приведены в табл.2. Под эталоном  $H_p(0,07)$  здесь принимается величина, полученная на основе расчетов и измерений по описанной выше методике. Облучение выполнялось для 4-х условий, когда между поверхностью источни-

ка и дозиметром помещались слои вещества с разной эквивалентной толщиной воды (мягкой биологической ткани). Разные толщины вещества использовались для изменения спектра бета-частиц. Усредненная величина отклонения результата измерений не превышает 5–6%. Для дозиметров типа 7776/8814 были выполнены аналогичные измерения, усредненная величина отклонения результата измерений для них не превышает 10%.

### Объект исследования

Для условий АЭС значительные уровни облучения хрусталика глаз и кожи могут возникнуть в случае аварийного выброса радионуклидов из реактора, а также при проведении ремонтных работ на вскрытом технологическом оборудовании первого контура реактора: в составе загрязнения в этих условиях могут присутствовать бета-излучающие ради-



**Рис.1.** Отношение результатов измерений  $H^*(10)$ , выполненных RAM ION и ДКС-АТ1121 в разных точках.

онуклиды, например,  $^{90}\text{Sr}+^{90}\text{Y}$ ,  $^{106}\text{Ru}+^{106}\text{Rh}$ ,  $^{144}\text{Ce}+^{144}\text{Pr}$  и др. В [10] были выполнены измерения  $H'(3)$ ,  $H'(0,07)$  при выполнении различных работ для условий Белоярской АЭС. В данной работе были выполнены измерения  $H'(3)$ ,  $H'(0,07)$ ,  $H^*(10)$  на рабочих местах лаборантов при выполнении операций по отбору проб жидкостей (в том числе теплоносителя первого контура) в помещениях здания пристройки к реакторным зданиям Балаковской АЭС. Точки измерения в данных исследованиях: поверхность перчаточных боксов; кюветы пробоотборных перчаточных боксов; внутри перчатки пробоотборного бокса; приборы для выполнения анализов, емкости для проб, раковины для слива проб и др.

### Результаты измерений

На рис.1 приведено отношение результатов измерений мощности амбиентного эквивалента дозы  $H^*(10)$ , выполненных RAM ION и ДКС-АТ1121. Относительное отклонение не превышает 30%, что совпадает с данными [10].

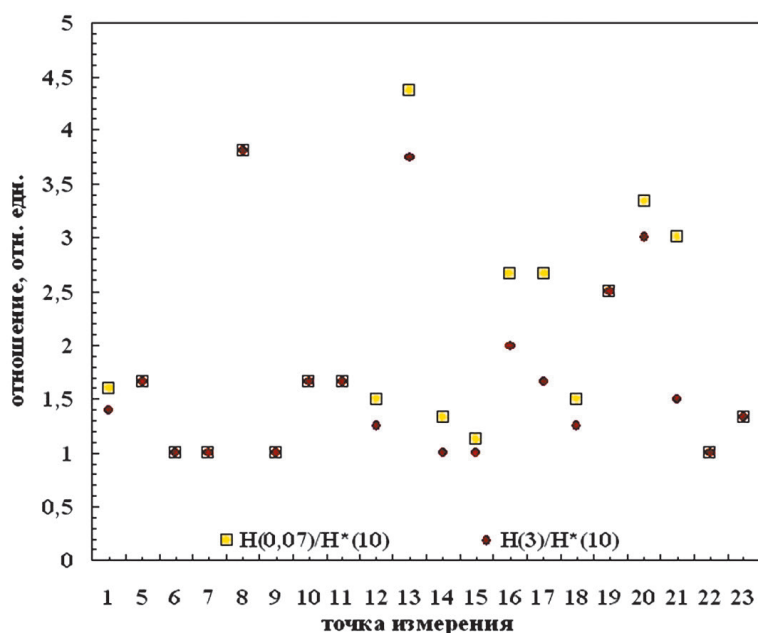


Рис.3. Отношение измеренных величин  $H'(0,07)/H^*(10)$  и  $H(3)/H^*(10)$  в разных точках.

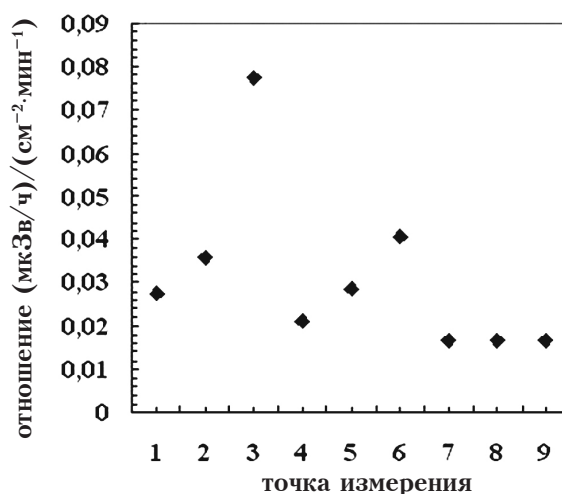


Рис.2. Отношение результатов измерений  $H'(0,07)$  и плотности потока бета-частиц, выполненных в разных точках.

На рис.2 приведено отношение измеренной величины  $H'(0,07)$  к измеренной величине плотности потока бета-частиц. На рис.3 приведено отношение результатов измерений  $H'(0,07)/H^*(10)$  и  $H'(3)/H^*(10)$ . Когда отношение  $H'(0,07)$  и плотности потока бета-частиц было меньше величины  $0,1 \text{ (мкЗв/ч)/(см}^2\text{·мин}^{-1}\text{)}$ , отношение  $H'(0,07)/H^*(10)$  и  $H'(3)/H^*(10)$  выше  $3/2$ . Это

позволяет отделить места, где вклад бета-излучения в облучение можно определить как значимый. Нужно отметить

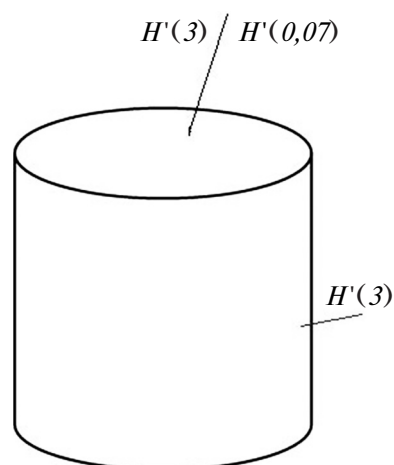
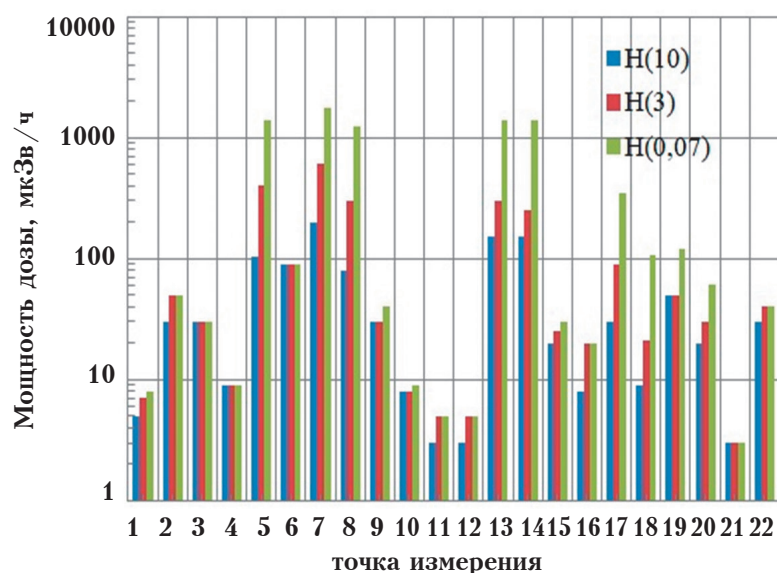


Рис.4. Геометрия измерения  $H'(0,07)$  и  $H'(3)$  для дозиметра RAM ION.



**Рис.5.** Мощность дозы ( $H'(0,07)$ ,  $H'(3)$  и  $H^*(10)$ ) в разных точках измерения.

следующее: когда измерения выполнялись в рукаве пробоотборного бокса, геометрия облучения была, скорее всего, ближе к изотропной. В случае изотропной геометрии облучения для расчета отношения  $H'(3)/H^*(10)$  поправку вносить не нужно, так как геометрия измерения для этих величин одинакова. Для расчета отношения  $H'(0,07)/H^*(10)$  в случае изотропного облучения необходимо учитывать, что толщины стенок ионизационной камеры (торцевой и боковой) при измерении  $H'(0,07)$  разные. При измерении  $H'(3)$  толщина боковой стенки и торца ионизационной камеры одинакова и равна 3 мм. При измерении  $H'(3)$  конструкция прибора такова, что есть возможность уменьшить толщину торца ионизационной камеры до 0,07 мм, при этом толщина боковой стенки остается 3 мм (рис.4). При изотропном облучении этот надо учесть. (рис.4). Поправка на соотношение площадей поверхности торца и боковой стенки составит 3,52. В этом случае без поправки отношение  $H'(0,07)/H^*(10)$  достигает 4,4, с поправкой 15. Максимально зафиксированное значение отношения  $H'(3)/H^*(10)$  составило 3,8. Это согласуется с результатами из работы [10] для условий Белоярской АЭС.

Измеренные величины мощностей доз  $H'(0,07)$ ,  $H'(3)$  и  $H^*(10)$  в разных точках измерения приведены на рис.5.

Следует отметить, что величины на уровне 100 мкЗв/ч и выше относятся к измерениям внутри пробоотборного бокса (в рукаве перчатки) при проливе воды из 1-го контура. В таком режиме руки оператора не находятся в рукавах перчатки, и вероятность нахождения дозиметра, измеряющего  $H'(3)$ , напротив рукава перчатки также мала.

Учитывая время операции по взятию проб и частоту таких операций, расчетная доза  $H'(0,07)$  и  $H'(3)$  за год будет ниже уровня введения ИДК внешнего облучения кожи и хрусталика глаза персонала группы А, которое составляет 20 мЗв в год.

### Заключение

Выполнены измерения мощности амбиентного эквивалента дозы, мощностей направленных эквивалентов дозы  $H'(0,07,\Omega)$ ,  $H'(3,\Omega)$  на рабочих местах Балаковской АЭС с помощью дозиметра RAM ION. Отмечается хорошая сходимость результатов измерений амбиентного эквивалента дозы  $H^*(10)$  дозиметра RAM ION с результатами измерений с помощью дозиметра ДКС-АТ1121 в пределах основной относительной погрешности измерений (рис.1). Выполнены измерения отношения  $H'(0,07)/H^*(10)$ ,  $H'(3)/H^*(10)$ . Максимально зафиксированное значение  $H'(3)/H^*(10)$  составило 3,8. Следует отметить, что геометрия, где зафиксирована максимальная величина отношения  $H'(3)/H^*(10)$ , находится внутри рукава перчаточного бокса. В такой геометрии

облучение хрусталика глаза возможно только при исключительных обстоятельствах, не предусмотренных регламентом работ. Таким образом возможное уменьшение дозового предела для  $H_p(3)$  в 7,5 раз не означает автоматического введения обязательного проведения инструментального контроля облучения хрусталика глаза для таких работ.

Результаты данных исследований использовались при разработке методики измерений [11]. Также учитывались данные по контролю облучения кожи, кистей, стоп и хрусталика глаза, на которых основаны документы [12,13].

По результатам измерений и расчетов в методике измерения [11] был введен поправоч-

ный коэффициент 1,15 из-за двух факторов: дозиметр, измеряющий  $H_p(3)$  у персонала, находится в нагрудном кармане спецодежды, а не на уровне лица; и толщина нагрудного кармана (дополнительный фильтр для бета-излучения) составляет 0,5 мм полиэтилена.

Работа выполнена в рамках контракта ООО «АтомПромИнжиниринг» и Балаковской АЭС при поддержке А.Ю. Соколова (ген. директора ООО «АПИ»). Отдельная благодарность Е.А. Зотову, Е.С. Зыковой (Балаковская АЭС) за помощь в измерениях, К. Нурлыбаеву (ООО НПП «Доза») за предоставленную возможность измерений дозиметром *RAM ION* и ценные замечания.

### Литература

1. Обеспечение радиационной защиты и безопасность радиационных источников: международные базовые стандарты безопасности (IAEA Safety Standards Series No GSR Part 3). Дата издания: 19 июля 2014.
2. СанПиН 2.6.1.2523-09. Нормы радиационной безопасности НРБ-99/2009. Санитарные правила и нормы. М.: Роспотребнадзор, 2009.
3. МУ 2.6.5.037-2016. Методические указания. Контроль эквивалентной дозы фотонного и бета-излучения в коже и хрусталике глаза. Федеральное медико-биологическое агентство, 2016.
4. МУ 2.6.5.028-2016. Определение индивидуальных эффективных и эквивалентных доз и организация контроля профессионального облучения в условиях планируемого облучения. Общие требования.
5. МУ 2.6.5.026-2016. Дозиметрический контроль внешнего профессионального облучения. Общие требования.
6. Алексеев А.Г., Алексеев П.А. Спектры нейтронов на рабочих местах персонала Балаковской АЭС // Евразийский Союз Ученых. Технические науки. 2020/02/17. № 70(2). С. 20-26.
7. Алексеев А.Г., Алексеев П.А., Пикалов В.А. Методические рекомендации по измерению индивидуальных эквивалентных доз облучения нейтронным излучением персонала Балаковской АЭС // Евразийский Союз Ученых. Технические науки. 2020/02/17. № 70(2). С. 20-26.
8. Нурлыбаев К., Мартынюк Ю.Н., Гинзбург Д. Аппаратурное, метрологическое и методическое обеспечение измерений направленных эквивалентов доз // АНРИ, 2017. № 2(89). С. 25-31.
9. Бритвич Г.И. и др. Устройство градуировки дозиметрических пленок. Опытный образец и методика измерений. НИЦ Курчатовский институт-ИФВЭ, 2013.
10. Пышкина М.Д., Жуковский М.В., Екидин А.А., Никитенко В.О., Назаров Е.И. Измерение амбиентного и направленного эквивалентов доз на рабочих местах персонала АО «ИРМ» и Белоярской АЭС // АНРИ. 2019. № 2(97). С. 43-50.
11. СТО 81632696-0008-2020. Методика измерений эквивалентной дозы облучения фотонного и бета-излучения кожи, кистей и хрусталика глаз персонала Балаковской АЭС с применением дозиметров из комплектов ИДК. ООО «АПИ», 2020. Свидетельство об аттестации № 03-39/8. RA.RU.311295 – 2020-ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И.Бурназяна ФМБА России. Номер в ФИФ - ФР.1.40.2020.37416.



12. СТО 01-25/4-2016. Методика определения доз облучения кожи, кистей, стоп и хрусталика глаза персонала Нововоронежской АЭС с применением поправочных коэффициентов к показаниям дозиметров из комплекта ИДК.
13. Методика выполнения измерений индивидуальных эквивалентов доз в полях гамма-, бета-, нейтронного излучений с применением термолюминесцентной дозиметрической автоматизированной системы HARSHAW модели 6600 (6600 LITE, 6600 PLUS). С.-Петербург: ООО «НПО «СПЕКТР». 2010. Свидетельство об аттестации № 44/21 0-(01.00250-2008)-2010-ФГУП «ВНИИМ им. Д.И.Менделеева».

## Measurement Individual Equivalent Doses of Irradiation the Skin and the Lens of the Eyes of Staff of Balakov NPP

Alexeev Alexander, Britvich Gennadiy, Pikalov Vladimir (NRC «Kurchatov Institute» – IHEP, Protvino, Moscow region, Russia)

Alexeev Pavel (SSC of the Russian Federation – Leypunsky Institute for Physics and Power Engineering, Joint-Stock Company (IPPE JSC), Obninsk, Kaluga region, Russia)

**Abstract.** Measurements were made of the directional dose equivalents rate  $H'(0,07)$ ,  $H'(3)$ , the ambient dose equivalent rate at the working places of the personnel of Balakovo NPP. Based on the results, an assessment is made of the need for instrumental monitoring of lens exposure in the event of a possible reduction in the dose limit.

**Key words:** directional dose equivalent, individual dose equivalent, beta radiation, dosimeter, reactor, nuclear power plant.

А.Г.Алексеев<sup>1</sup> (с.н.с.), Г.И.Бритвич<sup>1</sup> (к.ф.-м.н), В.А.Пикалов<sup>1</sup> (вед.инж), П.А.Алексеев<sup>2</sup> (к.т.н., с.н.с.).

<sup>1</sup> «НИИЦ Курчатовский институт» – ИФВЭ, г. Протвино Московской обл., Россия.

<sup>2</sup> АО «ГНЦ РФ-ФЭИ», г. Обнинск Калужской обл., Россия.

Контакты: тел. (4967) 713827; e-mail: Alexeev@iher.ru.