DOI:10.33266/1024-6177-2026-71-6-55-60

Д.В. Арефьева, С.В. Натха, В.Б. Фирсанов, А.В. Петушок, Н.М. Воробьева

ОБОСНОВАНИЕ МЕР ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ КОНТРОЛЯ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ЭКВИВАЛЕНТНЫХ ДОЗ ОБЛУЧЕНИЯ ПЕРСОНАЛА ПРЕДПРИЯТИЙ АТОМНОГО СУДОСТРОЕНИЯ И СУДОРЕМОНТА

Научно-исследовательский институт промышленной и морской медицины ФМБА России, Санкт-Петербург

Контактное лицо: Дарья Владимировна Арефьева, e-mail: lab1niipmm@yandex.ru

РЕФЕРАТ

Цель: Разработка практических рекомендаций по индивидуальному дозиметрическому контролю эквивалентной дозы облучения работников предприятий атомного судостроения и судоремонта с учетом обновления законодательства в сфере радиационной безопасности.
Материал и методы: Предмет исследования – дозы облучения работников предприятия атомного судостроения и судоремонта, относящихся к различным профессиональным группам – дефектоскописты гамма- и рентгенографирования, переработчики радиоактивных отходов, слесари-монтажники. Проведен ретроспективный анализ годовых индивидуальных эффективных доз облучения работников (42 человека) за период 2019–2023 гг. Индивидуальные эквивалентные дозы облучения определяли с использованием термолюминесцентных дозиметров ДТЛ-02, МКД (тип А) и МКД (тип Б), установленных на груди, на уровне глаз и кистях рук работников соответственно.
Результаты: Максимальные значения индивидуальных эквивалентных доз за период ношения дозиметра зарегистрированы у дефектоскопистов гамма- и рентгенографирования: в хрусталике глаза – от 0,26 до 5,73 мЗв, на все тело – до 1,21 мЗв, на кисти рук – до 2,20 мЗв, у переработчиков радиоактивных отходов дозы значительно ниже (в хрусталике – от 0,01 до 0,34 мЗв), у слесарей-монтажников – наименьшие значения. Наибольший риск превышения нового годового предела (20 мЗв в хрусталике глаза) установлен для дефектоскопистов (63 %). Анализ годовых индивидуальных эффективных доз облучения работников за 2019–2023 гг. показывает необходимость внедрения индивидуального контроля для дефектоскопистов гамма- и рентгенографирования. Предложены рекомендации по организации индивидуального контроля: обязательное применение дозиметров для дефектоскопистов гамма- и рентгенографирования, использование современных ТЛД-дозиметров (например, EYE-D), групповой контроль рабочих зон, применение нескольких точек измерения для повышения точности.
Заключение: Установлено, что дефектоскописты гамма- и рентгенографирования подвергаются максимальным дозовым нагрузкам по сравнению с другими группами персонала предприятия атомного судостроения и судоремонта. Необходимо внедрение индивидуального контроля эквивалентной дозы в хрусталике глаза для данной категории специалистов; для остальных групп персонала предприятия целесообразно временное введение контроля при внедрении новых производственных технологий. Полученные результаты могут быть использованы для совершенствования системы радиационной безопасности в судостроительной отрасли.

Ключевые слова: *персонал, индивидуальный эквивалент дозы, термолюминесцентный дозиметр, доза облучения хрусталика глаза, предприятия атомного судоремонта*

Для цитирования: Арефьева Д.В., Натха С.В., Фирсанов В.Б., Петушок А.В., Воробьева Н.М. Обоснование мер по совершенствованию контроля индивидуальных эквивалентных доз облучения персонала предприятий атомного судостроения и судоремонта // Медицинская радиология и радиационная безопасность. 2026. Т. 71. № 6. С. 55–60. DOI:10.33266/1024-6177-2026-71-6-55-60

DOI:10.33266/1024-6177-2026-71-6-55-60

D.V. Arefeva, S.V. Natha, V.B. Firsanov, A.V. Petushok, N.M. Vorobyeva

Substantiation of Measures to Improve the Control of Individual Equivalent Radiation Doses for Personnel of Nuclear Shipbuilding and Ship Repair Enterprises

Research Institute of Industrial and Maritime Medicine, St-Petersburg, Russia

Contact person: D.V. Arefeva, e-mail: lab1niipmm@yandex.ru

ABSTRACT

Purpose: To develop practical recommendations for individual dosimetric control of the equivalent dose of radiation exposure for employees of nuclear shipbuilding and shiprepair enterprises, taking into account the updated legislation in the field of radiation safety.
Material and methods: The subject of the study is the radiation doses of employees of a nuclear shipbuilding and shiprepair enterprise belonging to various professional groups: gamma and X-ray flaw detectors, radioactive waste processors, and fitters. A retrospective analysis of the annual individual effective radiation doses of employees (42 people) for the period 2019–2023 was conducted. Individual equivalent radiation doses were determined using thermoluminescent dosimeters DTL-02, MKD (type A), and MKD (type B), which were placed on the chest, at eye level, and on the hands of the employees, respectively.
Results: The maximum values of individual equivalent doses during the period of wearing the dosimeter were recorded for gamma and X-ray flaw detectors: from 0.26 to 5.73 mSv in the lens of the eye, up to 1.21 mSv on the entire body, and up to 2.20 mSv on the hands. The doses for radioactive waste processors were significantly lower (from 0.01 to 0.34 mSv in the lens of the eye), and the doses for fitters were the lowest. The greatest risk of exceeding the new annual limit (20 mSv in the lens of the eye) was observed for flaw detectors (63 %). The analysis of the annual individual effective radiation doses of employees for the period 2019–2023 indicates the need for individual control for gamma and X-ray flaw detectors. Recommendations for organizing individual control have been proposed, including the mandatory use of dosimeters for gamma and X-ray flaw detectors, the use of modern TLD dosimeters (such as EYE-D), the group control of work areas, and the use of multiple measurement points to improve accuracy.

Conclusion: It has been established that gamma and X-ray flaw detectors are exposed to the highest radiation doses compared to other groups of employees at a nuclear shipbuilding and shiprepair enterprise. It is necessary to introduce individual monitoring of the equivalent dose in the eye lens for this category of specialists; for other groups of the enterprise's personnel, it is advisable to temporarily introduce monitoring when introducing new production technologies. The results obtained can be used to improve the radiation safety system in the shipbuilding industry.

Keywords: *personnel, individual equivalent dose, thermoluminescent dosimeter, dose to the lens of the eye, nuclear ship repair enterprises*

For citation: Arefeva DV, Natha SV, Firsanov VB, Petushok AV, Vorobyeva NM. Substantiation of Measures to Improve the Control of Individual Equivalent Radiation Doses for Personnel of Nuclear Shipbuilding and Ship Repair Enterprises. Medical Radiology and Radiation Safety. 2026;71(6):55–60. DOI:10.33266/1024-6177-2026-71-6-55-60

Введение

Стратегия развития судостроительной промышленности Российской Федерации[1] с горизонтом планирования до 2036 г. и на дальнейшую перспективу до 2050 г. предусматривает интенсивное развитие отрасли, повышение загрузки действующих предприятий с 51% в 2025 г. до 61% к 2036 г. и до 73% к 2050 г. Ожидается увеличение объема работ по строительству и ремонту атомных морских объектов, удвоение количества новых и модернизированных судоремонтных предприятий с трёхкратным увеличением объема судоремонта.

Реализация этих мер обусловит закономерный рост объемов судостроения и судоремонта, в том числе атомного, за счет увеличения производственной мощности, повышения производительности труда и увеличения серийности строящихся судов, что может привести к повышению доз облучения отдельных категорий персонала данных предприятий.

В настоящее время в Российской Федерации идет работа над обновлением санитарно-эпидемиологического законодательства по обеспечению радиационной безопасности (а именно, переработка основных нормативных правовых актов – НРБ-99/2009[2] и ОСПОРБ-99/2010[3]), в которых будет пересмотрена нормируемая эквивалентная доза облучения хрусталика глаза в соответствии со значением, рекомендованным в Публикации Международной комиссии по радиационной защите № 103 [1]. Согласно планируемым к введению нормативам, для персонала группы А усреднённая за пятилетний период доза облучения хрусталика глаза не должна превышать 20 мЗв, при этом максимально допустимая доза за отдельный календарный год составит 50 мЗв. Данное обстоятельство потребует разработки порядка проведения индивидуального дозиметрического контроля эквивалентной дозы облучения хрусталика глаза и изменения программ производственного контроля, поскольку существующие меры могут не обеспечить адекватный дозовый контроль.

Контроль дозы облучения хрусталика глаза является критически важным в ряде специфических ситуаций, сопряжённых с повышенным риском возникновения радиационно-индуцированной катаракты. Прежде всего, систематический мониторинг необходим для персонала, непосредственно работающего с источниками ионизирующего излучения, в частности, фотонного и бета-излучения. Эти условия характерны для предприятий атомной промышленности, медицинских учреждений (включая рентгенологические отделения и кабинеты компьютерной томографии), исследовательских лабораторий, оснащённых радиационными источниками, а также предприятий, применяющих радиационные технологии в производственных процессах [2, 3].

В зарубежных исследованиях подчёркивается растущая актуальность контроля доз облучения хрусталика глаза у работников отраслей с высоким уровнем воздействия ионизирующего излучения [4–6]. Известны подходы, позволяющие определить группы персонала, для которого целесообразно применение индивидуальных дозиметров, регистрирующих дозу облучения хрусталика глаза [7–11]. Однако для российской судостроительной промышленности такие подходы ещё недостаточно описаны: в научных публикациях представлены лишь фрагментарные исследования по данной тематике [12, 13], что обусловливает актуальность настоящего исследования.

Цель – разработка практических рекомендаций по индивидуальному дозиметрическому контролю эквивалентной дозы облучения работников предприятий атомного судостроения и судоремонта с учетом обновления законодательства в сфере радиационной безопасности.

Материал и методы

Объектом исследования являлся персонал предприятий атомного судостроения и судоремонта. Предмет исследования: дозы облучения работников указанных предприятий, относящихся к различным профессиональным группам.

На одном из ведущих предприятий отрасли проведены измерения индивидуальных эквивалентных доз облучения хрусталика глаза, кистей рук у представителей (42 чел.) основных профессиональных групп персонала (дефектоскопист гамма- и рентгенографирования, переработчик радиоактивных отходов (РАО) и слесарь-ремонтник).

Для оценки индивидуального эквивалента дозы внешнего облучения на все тело, хрусталик глаза и кожу применяли индивидуальные термолюминесцентные дозиметры, которые были размещены у работников на нагрудном кармане (ДТЛ-02), на каске или защитных очках на уровне глаз (МКД (тип А)), на защитных перчатках (МКД (тип Б)). Погрешность, обусловленная энергетической зависимостью чувствительности детекторов, в полях гамма-излучения не превышала 30%. Основная погрешность результатов измерений $H_p(10)$ составила 20% (p = 0,95), а дополнительная, связанная с изменениями внешних факторов (температуры, влажности воздуха и др.), относительно нормальных условий не превышала 20 %.

Дозиметр ДТЛ-02 предназначен для регистрации индивидуального эквивалента дозы фотонного излучения $H_p(10)$, состоит из пластмассового корпуса, внутри ко-

[1] Стратегия развития судостроительной промышленности на период до 2036 года и на дальнейшую перспективу до 2050 года, утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 28.10.2019 № 2553-р (в редакции распоряжения Правительства Российской Федерации от 12.05.2025 № 1181-р).

[2] СанПиН 2.6.1.2523-09. Нормы радиационной безопасности НРБ-99/2009: утверждены и введены в действие постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 07.07.2009 № 47 пр.

[3] СанПиН 2.6.1.2612-10. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности ОСПОРБ-99/2010: утверждены и введены в действие постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 26.04.2010 № 40.

торого размещены термолюминесцентные детекторы и фильтр для выравнивания энергетической зависимости чувствительности.

Дозиметр МКД (тип А) предназначен для измерения эквивалентной дозы фотонного и бета-излучения $H_p(3)$ в хрусталике глаза, представляет собой составную кассету из ударопрочного, химически- и радиационно-устойчивого тканеэквивалентного материала. Внутри имеются вращающиеся на одной оси подложки-поглотители, на которых размещаются детекторы.

Дозиметр МКД (тип Б) предназначен для регистрации эквивалентной дозы фотонного и бета-излучения $H_p(0,07)$ в коже пальцев рук, состоит из набора детекторов, разделенных тканеэквивалентными поглотителями. Набор детекторов запаян в полиэтиленовый конверт и помещен на гибкую несущую основу, с помощью которой он крепится на внутренней стороне фаланг пальцев рук.

На рис. 1 приведен внешний вид индивидуальных дозиметров ДТЛ-02, МКД (тип А) и МКД (тип Б).



а б в

Рис. 1 – Внешний вид индивидуальных дозиметров ДТЛ-02 (б), МКД (тип А) (а) и МКД (тип Б) (в)

Fig. 1 – External views of personal dosimeters DTL-02 (б), MKD (type A) (a) and MKD (type B) (в)

Также проведена оценка доз облучения персонала предприятия по данным статистических отчетных форм № 1-ДОЗ «Сведения о дозах облучения лиц из персонала в условиях нормальной эксплуатации организациями техногенных источников ионизирующих излучений» за период 2019–2023 гг.

Результаты и обсуждение

На предприятиях атомного судостроения и судоремонта особого внимания заслуживают работы, выполняемые в зонах с повышенными значениями параметров радиационной обстановки, в том числе при наличии высоких уровней загрязнения радиоактивными веществами воздуха и поверхностей [14].

Результаты измерения значений индивидуального эквивалента дозы на все тело, хрусталик глаза и кисти рук у работников предприятия представлены в табл. 1.

Согласно данным, представленным в табл. 1, наибольшие значения индивидуальных эквивалентных доз за период ношения дозиметра наблюдаются у дефектоскопистов гамма- и рентгенографирования с диапазонами от 0,22 до 1,21 мЗв на все тело, от 0,26 до 5,23 мЗв в хрусталике глаза и от 0,19 до 2,20 мЗв (на кисти рук); у переработчиков РАО дозы варьируют в пределах 0,03–0,36 мЗв, 0,04–0,34 мЗв и 0,02–0,39 мЗв, соответственно. Наименьшие значения характерны для слесарей-монтажников: 0,06–0,10 мЗв на все тело, 0–0,04 мЗв в хрусталике глаза и 0–0,03 мЗв на кисти рук. Таким образом, у дефектоскопистов гамма- и рентгенографирования отмечены наибольшие значения средних эквивалентных доз среди всех исследованных групп персонала, которые в несколько раз превышают соответствующие показатели у переработчиков РАО и слесарей-монтажников, соответственно. Данные различия можно объяснить особенностями выполняемых технологических операций, характером и продолжительностью контакта с источниками ионизирующего излучения.

Таблица 1

Значения индивидуальных эквивалентных доз на все тело, хрусталик глаза и кисти рук

Values of individual equivalent doses for the whole body, lens of the eye and hand

Шифр работника	Специальность работника	Эквивалентная доза за период ношения дозиметра[1] /за год[2], мЗв		
		на все тело	на хрусталик	на кожу кистей рук
001	Переработчик РАО	0,03 / 0,18	0,04 / 0,24	0,25 / 1,50
002	Переработчик РАО	0,05 / 0,30	0,05 / 0,30	0,13 / 0,78
003	Переработчик РАО	0,06 / 0,36	0,02 / 0,12	0,33 / 1,98
004	Переработчик РАО	0,36 / 2,16	0,34 / 2,04	0,39 / 2,34
005	Переработчик РАО	0,01 / 0,06	0,01 / 0,06	0,11 / 0,66
006	Переработчик РАО	0,05 / 0,30	0,07 / 0,42	0,02 / 0,12
007	Переработчик РАО	0,06 / 0,36	0,05 / 0,30	0,18 / 1,08
008	Переработчик РАО	0,24 / 1,44	0,21 / 1,26	0,14 / 0,84
009	Переработчик РАО	0,06 / 0,36	0,25 / 1,50	0,18 / 1,08
010	Переработчик РАО	0,06 / 0,36	0,02 / 0,12	0,04 / 0,24
011	Переработчик РАО	0,05 / 0,30	0,04 / 0,24	–
012	Переработчик РАО	0,02 / 0,12	0,01 / 0,06	–
013	Переработчик РАО	0,01 / 0,06	0,02 / 0,12	–
014	Переработчик РАО	0,18 / 1,08	0,02 / 0,12	–
015	Переработчик РАО	0,03 / 0,18	0,01 / 0,60	–
016	Переработчик РАО	0,01 / 0,06	0,03 / 0,18	–
017	Переработчик РАО	0,01 / 0,06	0,01 / 0,06	–
018	Переработчик РАО	0,01 / 0,06	0,01 / 0,06	–
019	Переработчик РАО	0,01 / 0,06	0,01 / 0,06	–
020	Переработчик РАО	0,01 / 0,06	0,01 / 0,06	–
021	Переработчик РАО	0,04 / 0,24	0,01 / 0,06	–
022	Переработчик РАО	0,04 / 0,24	0,02 / 0,12	–
023	Переработчик РАО	0,02 / 0,12	0,02 / 0,12	–
024	Переработчик РАО	0,02 / 0,12	0,01 / 0,06	–
025	Переработчик РАО	0,02 / 0,12	0,05 / 0,30	–
026	Переработчик РАО	0,03 / 0,18	0,01 / 0,06	–
027	Дефектоскопист	0,98 / 11,76	5,70 / 68,4	1,21 / 14,52
028	Дефектоскопист	0,35 / 4,20	1,01 / 12,12	0,43 / 5,16
029	Дефектоскопист	0,97 / 11,64	4,79 / 57,48	1,90 / 22,80
030	Дефектоскопист	0,22 / 2,64	0,50 / 6,00	0,19 / 2,28
031	Дефектоскопист	1,17 / 14,04	5,73 / 68,76	1,14 / 13,68
032	Дефектоскопист	0,68 / 8,16	2,67 / 32,04	1,00 / 12,00
033	Дефектоскопист	0,50 / 6,00	3,04 / 36,48	0,71 / 8,52
034	Дефектоскопист	1,02 / 12,24	2,02 / 24,24	1,32 / 15,84
035	Дефектоскопист	0,81 / 9,72	1,26 / 15,12	0,72 / 8,64
036	Дефектоскопист	1,21 / 14,52	5,26 / 63,12	1,20 / 14,40
037	Слесарь-монтажник	0,09 / 1,08	0,00 / 0,00	0,02 / 0,24
038	Слесарь-монтажник	0,06 / 0,72	0,00 / 0,00	0,03 / 0,36
039	Слесарь-монтажник	0,08 / 0,96	0,01 / 0,12	0,00 / 0,00
040	Слесарь-монтажник	0,10 / 1,20	0,04 / 0,48	0,02 / 0,24
041	Дефектоскопист	0,32 / 3,84	0,37 / 4,44	0,78 / 9,36
042	Дефектоскопист	0,25 / 3,00	0,26 / 3,12	2,20 / 26,40

Примечание: [1] – Указаны значения за вычетом фона. [2] Годовые значения рассчитаны путём экстраполяции: измеренная доза за период ношения дозиметра (для переработчиков РАО – 2 мес, для остальных – 1 мес) умножена на соответствующее количество месяцев. Использован консервативный подход, без учета дней отпуска

По данным перерасчета полученных значений путём экстраполяции (измеренная доза за период ношения дозиметра умножена на количество месяцев), установлено, что среди переработчиков РАО и слесарей-ремонтников

риск превышения обновленного предела дозы облучения хрусталика глаза (20 мЗв/год) практически нереализуем, при этом для дефектоскопистов гамма- и рентгенографирования он составляет 63%. Для всего рассмотренного персонала риск превышения дозы облучения кистей рук (150 мЗв) отсутствует.

В табл. 2 приведены средние значения эквивалентных доз внешнего облучения различных органов работников предприятия, рассчитанные по данным табл. 1.

Из данных, представленных в табл. 2, следует что:

– для дефектоскопистов гамма- и рентгенографирования характерно существенное превышение средних эквивалентных доз облучения хрусталика глаза (в 4 раза) и кистей рук (в 2 раза) по сравнению с эквивалентной дозой на все тело;
– у переработчиков РАО средняя эквивалентная доза на кожу кистей рук в 3 раза выше, чем на все тело, при этом доза облучения хрусталика глаза незначительно отличается от эквивалентной дозы на все тело, что свидетельствует о преимущественном облучении кистей рук;
– для слесарей-монтажников существенные различия между средней эквивалентной дозой на все тело, хрусталик глаза и кисти рук отсутствуют, что указывает на равномерное облучение.

Возможно, значительные дозы облучения хрусталика глаза связаны с применением сотрудниками предприятия дефектоскопов различных типов при выполнении специализированных работ. Для проведения работ используются дефектоскопы с источниками гамма-излучения на основе иридия-192 различной мощности: ДВС-2М (до 6 г-экв. радия), Стапель-5/5М (до 9 г-экв. радия), Стапель-20 (до 20 г-экв. радия) и ГАММАРИД (до 50 г-экв. радия).

В табл. 3 приведены среднегодовые индивидуальные эффективные дозы облучения персонала предприятия за период 2019–2023 гг. по данным анализа статистических отчетных форм № 1-ДОЗ.

Согласно данным табл. 3, у дефектоскопистов гамма- и рентгенографирования установлены относительно более высокие значения среднегодовой индивидуальной эффективной дозы облучения за весь период наблюдения, которые однако не превышают установленных в НРБ-99/2009 пределов для персонала группы А. Тем не менее, учитывая представленные результаты (доза облучения хрусталика глаза может превышать дозу на всё тело на 30%), можно говорить о необходимости введения индивидуального дозиметрического контроля хрусталика глаза при установлении нового предела дозы.

Анализ полученных данных, а также научной литературы и международных рекомендаций [15–18], позволил сформулировать практические рекомендации по организации индивидуального дозиметрического контроля эквивалентной дозы облучения у работников предприятий атомного судостроения и судоремонта (после введения в Российской Федерации нового дозового предела):

1. Использовать защитные очки с линзами из свинцового стекла дефектоскопистами гамма- и рентгенографирования при выполнении работ;
2. Ввести индивидуальный дозиметрический контроль доз облучения хрусталика глаза для дефектоскопистов гамма- и рентгенографирования, для остальных профессиональных групп рекомендовать временный контроль при отработке новых технологий;
3. Внедрить методы группового контроля по данным дозиметрического обследования рабочих мест с последующим расчетом эквивалентных доз на основе характеристик излучения и времени пребывания в зоне облучения;
4. Использовать дополнительный дозиметр, закрепленный на воротнике или голове работника (оптимально – на уровне глаз), для получения удовлетворительной оценки индивидуального эквивалента дозы облучения хрусталика глаза (в связи с тем, что при проведении дефектоскопии сварных швов на предприятиях используются устройства на основе иридия-192). Для наиболее точных оценок целесообразно применять современные индивидуальные термолюминесцентные дозиметры (например, дозиметр EYE-D);
5. Определить виды деятельности и рабочие процессы, при которых работники могут подвергаться неравномерному облучению рентгеновским и гамма-излучением, особенно в зонах с повышенной радиационной опасностью.

Таблица 2

Дозы внешнего облучения различных органов у работников предприятия атомного судостроения и судоремонта

External irradiation doses to various organs of nuclear shipbuilding and ship repair enterprises workers

Специальность работника	Средняя эквивалентная доза за период ношения дозиметра [1], мЗв			Отношение	
	на все тело E	на хрусталик $H_p(3)_{хр}$	на кожу кистей рук $H_p(0,07)_{кисть}$	$E/ H_p(3)_{хр}$	$E/ H_p(0,07)_{кисть}$
Дефектоскопист гамма- и рентгено-графирования	0,71±0,37	2,72±2,15	1,07±0,57	0,26	0,66
Переработчик РАО	0,06±0,08	0,05±0,08	0,18±0,12	1,10	0,32
Слесарь-монтажник	0,08±0,02	0,01±0,02	0,02±0,01	6,60	4,71

Примечание: [1] Указаны средние значения со стандартными отклонениями

Таблица 3

Среднегодовые индивидуальные эффективные дозы облучения персонала предприятия атомного судостроения и судоремонта за 2019–2023 гг.

Average annual individual effective radiation doses of personnel for 2019–2023

Профессиональная группа	Средняя индивидуальная эффективная доза облучения, мЗв/год[1]				
	За 2019 г.	За 2020 г.	За 2021 г.	За 2022 г.	За 2023 г.
Дефектоскописты гамма- и рентгенографирования	7,62±4,82 (0,08/13,81)	6,64±3,60 (0,55/11,91)	6,61±4,15 (0,22/16,36)	6,05±4,25 (0,33/13,83)	3,97±2,42 (0,16/7,94)
Переработчики РАО	2,13±1,01 (0,17/4,07)	1,47±0,37 (0,84/2,71)	1,32±0,43 (0,37/2,04)	1,13±0,26 (0,42/1,61)	1,09±0,25 (0,39/1,54)
Слесари-монтажники	0,88±0,33 (0,51/1,28)	0,51±0,34 (0,10/0,94)	0,55±0,36 (0,05/1,21)	0,49±0,23 (0,08/0,81)	0,32±0,23 (0,05/0,79)

Примечание: [1] Указаны среднее значение, среднеквадратичное отклонение, минимальное/ максимальное значения

Оснований для введения индивидуального дозиметрического контроля доз облучения кистей рук у персонала предприятий атомного судостроения и судоремонта по имеющимся данным не выявлено.

Заключение

Проведенное исследование показало, что у дефектоскопистов гамма- и рентгенографирования на предприятиях атомного судостроения и судоремонта годовая эквивалентная доза облучения хрусталика глаза потенциально может превысить значение 20 мЗв, которое планируется к введению федеральным регулятором в качестве нового годового предела дозы, усреднённого за пятилетний период. Это обусловлено условиями труда и особенностями использования производственного оборудования при выполнении работ по строительству и ремонту атомных морских объектов. В целях снижения риска у данной категории работников необходима реализация ряда мер радиационной защиты, относящихся к организации индивидуального и группового дозиметрического контроля, использованию дополнительных дозиметров и дополнительных средств защиты органа зрения.

Для остальных профессиональных групп работников указанных предприятий риск превышения нового годового предела дозы облучения хрусталика глаза минимален.

Дальнейшие исследования необходимо проводить в направлении совершенствования системы индивидуального дозиметрического контроля работников предприятий атомного судостроения и судоремонта с целью минимизации радиационных рисков в условиях планируемого роста производственной загрузки отрасли.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. МКРЗ. Публикация 103. Международная комиссия по радиологической защите / Под ред. М.Ф. Киселёва, Н.К. Шандалы. М.: Алана, 2009. 344 с.
2. Шлеенкова Е.Н., Бажин С.Ю., Кайдановский Г.Н., Чипига Л.А., Ильин В.А. О необходимости проведения регулярного контроля доз облучения хрусталиков глаз у персонала, занятого на работах с использованием радиофармацевтических препаратов // Радиационная гигиена. 2021. Т.3. №14. С. 101–111
3. IAEA. Implications for Occupational Radiation Protection of the New Dose Limit for the Lens of the Eye. No. 1731. IAEA TECDOC Series. Vienna: IAEA, 2013. 44 p. URL: https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/TE-1731_web.pdf.
4. Yokoyama S., Tatsuzaki H., Tanimura Y., Yoshitomi H., Hirao S., Aoki K., Tachiki S., Ezaki I., Hoshi K., Tsujimura N. Radiation Exposure to the Lens of the Eye for Japanese Nuclear Power Plant Workers // J Radiol Prot. 2022. No.42. P.3. Doi: 10.1088/1361-6498/ac7913. PMID: 35705021.
5. Kim S., Son J., Kim C.W. Development of Equivalent Dose Assessment Methodology for the Lens of the Eye at Nuclear Power Plant Workers // Radiat Prot Dosimetry. 2024. V.201. No.1. P. 10-17. Doi: 10.1093/rpd/ncae216. PMID: 39558885.
6. McWhan A., Dobrzynska W. Eye Lens Dose Monitoring in the UK Nuclear Industry Using Active Personal Dosemeters // J Radiol Prot. 2018. No.3. P.1204-1216. Doi: 10.1088/1361-6498/aa9bc6. Epub 2017 Nov 20. PMID: 29155416.
7. Swiss Society of Radiobiology and Medical Physics (SSRPM). Eye Lens Dosimetry. Recommendations №17. Zürich: SSRPM, 2021. 24 p. URL: https://ssrpm.ch/wp-content/uploads/2021/12/recommendations-no17-eye-lens-dosimetry-2021-12.pdf.
8. IRPA. Guideline Protocol for Eye Dose Monitoring and Eye Protection of Workers. Internation Radiation Protection Association. Vienna: International Radiation Protection Association, 2017. 4 p. URL: https://www.irpa.net/docs/IRPA%20Guidance%20on%20Implementation%20of%20Eye%20Dose%20Monitoring%20(2017).pdf.
9. Шлеенкова Е.Н., Голиков В.Ю., Кайдановский Г.Н., Бажин С.Ю., Ильин В.А. Результаты контроля доз облучения хрусталиков глаз у медицинского персонала г. Санкт-Петербурга // Радиационная гигиена. 2019. Т.4. №12. С. 29–36. Doi: 10.21514/1998-426X-2019-12-4-29-36.
10. Meshari A.A., Khan A-N.B., Burki S., Nishtar T., Yaseen M., Shah S.S.A., Irfan M. Assessment of Occupational Radiation Doses to Eye Lens during Interventional Radiology Procedures // Radiation Physics and Chemistry. 2024. No.225. P. 112131. ISSN 0969-806X. Doi: 10.1016/j.radphyschem.2024.112131.
11. Miyaji N., Miwa K., Iimori T., Wagatsuma K., Tsushima H., Yokotsuka N., Murata T., Kasahara T., Terauchi T. Determination of a Reliable Assessment for Occupational Eye Lens Dose in Nuclear Medicine // J Appl Clin Med Phys. 2022 Aug. V.23. No.8. P. e13713. Doi: 10.1002/acm2.13713. Epub 2022 Jul 1. PMID: 35775691; PMCID: PMC9359038.
12. Балтрукова Т.Б., Арефьева Д.В., Шаяхметова А.А., Джикия Ю.В., Петушок А.В. Оценка доз облучения персонала при проведении радионуклидной дефектоскопии на предприятии атомного судоремонта // Medline.ru. Российский биомедицинский журнал. 2023. Т.1. №24. С. 260-269. EDN IHVXJH.
13. Арефьева Д.В., Джикия Ю.В., Петушок А.В. Дозовые нагрузки на дефектоскопистов гамма-графирования на предприятии по ремонту атомных подводных лодок // Ильинские чтения-2022: Сборник материалов школы – конференции молодых учёных и специалистов. Москва, 6-7 октября 2022 г. М.: ФМБЦ им. А.И. Бурназяна, 2022. С. 25-27. EDN TKHIBC.
14. Хазагеров С.М., Шаяхметова А.А., Арефьева Д.В., Иванова Т.А. Обоснование порядка контроля индивидуальных эквивалентных доз в хрусталике глаза от фотонного излучения в производственных условиях на предприятиях атомного судостроения и судоремонта // Современные проблемы науки и образования. 2015. №2-3. С. 48. EDN VBRCJT.
15. Haga Y., et al. Occupational Eye Dose in Interventional Cardiology Procedures // Scientific Reports. 2017. V.7. No.1. P. 569.
16. Cornacchia S., Errico R., La Tegola L., et al. The New Lens Dose Limit: Implication for Occupational Radiation Protection // Radiol Med. 2019. No.124. P. 728–735. Doi: 10.1007/s11547-019-01027-7.
17. IRPA TG. IRPA Guidance on Implementation of Eye Dose Monitoring and Eye Protection of Workers. London: IPRA, 2017. 12 p. URL: http://www.irpa.net/docs/IRPA%20Guidance%20on%20Implementation%20of%20Eye%20Dose%20Monitoring%20(2017).pdf
18. IAEA TECDOC 1731. Implications for Occupational Radiation Protection of the New Dose Limit for the Lens of the Eye. Vienna: IAEA, 2013. 44 p. URL: https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/TE-1731_web.pdf.

REFERENCES

1. *MKRZ. Publikatsiya 103. Mezhdunarodnaya Komissiya po Radiologicheskoy Zashchite* = ICRP. Publication 103. International Commission on Radiological Protection. Ed. M.F. Kiselev, N.K. Shandala. Moscow, Alana Publ., 2009. 344 p. (In Russ.).
2. Shleyenkova Ye.N., Bazhin S.Yu., Kaydanovskiy G.N., Chipiga L.A., Il'in V.A. On the Need for Regular Monitoring of Radiation Doses to the Lenses of the Eyes of Personnel Engaged in Work Using Radiopharmaceuticals. *Radiatsionnaya Gigiyena* = Radiation Hygiene. 2021;3;14:101–111 (In Russ.). Doi: 10.21514/1998-426X -2021-14-3-101-111.

3. IAEA. Implications for Occupational Radiation Protection of the New Dose Limit for the Lens of the Eye. No.1731. IAEA TECDOC Series. Vienna, IAEA, 2013. 44 p. URL: https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/TE-1731_web.pdf.
4. Yokoyama S., Tatsuzaki H., Tanimura Y., Yoshitomi H., Hirao S., Aoki K., Tachiki S., Ezaki I., Hoshi K., Tsujimura N. Radiation Exposure to the Lens of the Eye for Japanese Nuclear Power Plant Workers. J Radiol Prot. 2022;42:3. Doi: 10.1088/1361-6498/ac7913. PMID: 35705021.
5. Kim S., Son J., Kim C.W. Development of Equivalent Dose Assessment Methodology for the Lens of the Eye at Nuclear Power Plant Workers. Radiat Prot Dosimetry. 2024;201;1:10-17. Doi: 10.1093/rpd/ncae216. PMID: 39558885.
6. McWhan A., Dobrzynska W. Eye Lens Dose Monitoring in the UK Nuclear Industry Using Active Personal Dosemeters. J Radiol Prot. 2018;3:1204-1216. Doi: 10.1088/1361-6498/aa9bc6. Epub 2017 Nov 20. PMID: 29155416.
7. Swiss Society of Radiobiology and Medical Physics (SSRPM). Eye Lens Dosimetry. Recommendations No.17. Zürich, SSRPM, 2021. 24 p. URL: https://ssrpm.ch/wp-content/uploads/2021/12/recommendations-no17-eye-lens-dosimetry-2021-12.pdf.
8. IRPA. Guideline Protocol for Eye Dose Monitoring and Eye Protection of Workers. Internation Radiation Protection Association. Vienna, International Radiation Protection Association, 2017. 4 p. URL: https://www.irpa.net/docs/IRPA%20Guidance%20on%20Implementation%20of%20Eye%20Dose%20Monitoring%20(2017).pdf.
9. Shleyenkova Ye.N., Golikov V.Yu., Kaydanovskiy G.N., Bazhin S.Yu., Il'in V.A. Results of Monitoring the Irradiation Doses of the Lenses of the Eyes of Medical Personnel in St. Petersburg. *Radiatsionnaya Gigiyena* = Radiation Hygiene. 2019;4;12:29–36 (In Russ.). Doi: 10.21514/1998-426X-2019-12-4-29-36.
10. Meshari A.A., Khan A-N.B., Burki S., Nishtar T., Yaseen M., Shah S.S.A., Irfan M. Assessment of Occupational Radiation Doses to Eye Lens during Interventional Radiology Procedures. Radiation Physics and Chemistry. 2024;225:112131. ISSN 0969-806X. Doi: 10.1016/j.radphyschem.2024.112131.
11. Miyaji N., Miwa K., Iimori T., Wagatsuma K., Tsushima H., Yokotsuka N., Murata T., Kasahara T., Terauchi T. Determination of a Reliable Assessment for Occupational Eye Lens Dose in Nuclear Medicine. J Appl Clin Med Phys. 2022 Aug;23;8:e13713. Doi: 10.1002/acm2.13713. Epub 2022 Jul 1. PMID: 35775691; PMCID: PMC9359038.
12. Baltrukova T.B., Aref'yeva D.V., Shayakhmetova A.A., Dzhikiya Yu.V., Petushok A.V. Assessment of Personnel Exposure Doses during Radionuclide Flaw Detection at a Nuclear Ship Repair Enterprise. Medline.ru. *Rossiyskiy Biomeditsinskiy Zhurnal* = Medline.ru. Russian Biomedical Journal. 2023;1;24:260-269 (In Russ.). EDN IHVXJH.
13. Aref'yeva D.V., Dzhikiya Yu.V., Petushok A.V. Dose Loads on Gamma-Ray Flaw Detector Operators at a Nuclear Submarine Repair Plant. *Il'inskiye Chteniya-2022* = Ilyinsky Readings-2022. Proceedings Materials from the School-Conference of Young Scientists and Specialists, Moscow, October 6-7, 2022. Moscow, FMBTS im. A.I. Burnazyana Publ., 2022. P. 25-27 (In Russ.). EDN TKHIBC.
14. Khazagerov S.M., Shayakhmetova A.A., Aref'yeva D.V., Ivanova T.A. Justification of the Procedure for Monitoring Individual Equivalent Doses in the Lens of the Eye from Photon Radiation in Industrial Conditions at Nuclear Shipbuilding and Ship Repair Enterprises. *Sovremennyye Problemy Nauki i Obrazovaniya* = Modern Problems of Science and Education. 2015;2-3:48 (In Russ.). EDN VBRCJT.
15. Haga Y., et al. Occupational Eye Dose in Interventional Cardiology Procedures. Scientific Reports. 2017;7;1:569.
16. Cornacchia S., Errico R., La Tegola L., et al. The New Lens Dose Limit: Implication for Occupational Radiation Protection. Radiol Med. 2019;124:728–735. Doi: 10.1007/s11547-019-01027-7.
17. IRPA TG. IRPA Guidance on Implementation of Eye Dose Monitoring and Eye Protection of Workers. London, IPRA, 2017. 12 p. URL: http://www.irpa.net/docs/IRPA%20Guidance%20on%20Implementation%20of%20Eye%20Dose%20Monitoring%20(2017).pdf
18. IAEA TECDOC 1731. Implications for Occupational Radiation Protection of the New Dose Limit for the Lens of the Eye. Vienna, IAEA, 2013. 44 p. URL: https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/TE-1731_web.pdf.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Средства федерального бюджета.

Участие авторов. *Арефьева Дарья Владимировна*: разработка концепции исследования, разработка дизайна исследования, разработка теоретической основы исследования, написание и научное редактирование текста; *Натха Сергей Владиславович*: научное редактирование текста, проверка критически важного интеллектуального содержания, утверждение окончательного варианта рукописи; *Фирсанов Владимир Борисович*: проведение экспериментов, разработка теоретической основы исследования, разработка и модификация методик исследования, сбор и анализ литературного материала, статистическая обработка данных; *Петушок Александра Владимировна*: проведение экспериментов, сбор и анализ литературного материала, статистическая обработка данных; *Воробьева Наталия Маркияновна*: статистическая обработка данных.

Поступила: 20.06.2026. Принята к публикации: 25.07.2026.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Financing. Federal budget funds.

Contribution. *Darya Vladimirovna Arefyeva*: development of the research concept, development of the research design, development of the theoretical framework of the research, writing and scientific editing of the text; *Sergei Vladislavovich Natkha*: scientific editing of the text, verification of critically important intellectual content, approval of the final version of the manuscript; *Vladimir Borisovich Firsanov*: conducting experiments, development of the theoretical framework of the research, development and modification of research methods, collection and analysis of literary material, statistical data processing; *Alexandra Vladimirovna Petushok*: conducting experiments, collection and analysis of literary material, statistical data processing; *Natalia Markiyanovna Vorobyova*: statistical data processing.

Article received: 20.06.2026. Accepted for publication: 25.07.2026.