

## Консервативная оценка доз внешнего облучения персонала при проведении радионуклидной дефектоскопии

С.Ю. Бажин, Е.Н. Шлеенкова, В.Ю. Богатырёва

Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева, Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия

*В статье предложен новый подход к оценке эффективных доз дефектоскопистов, выполняющих дефектоскопию с использованием переносных радионуклидных дефектоскопов (гамма-дефектоскопов). Существующий подход по оценке эффективных доз, опирающийся на использование одного индивидуального дозиметра, размещаемого на рабочей одежде в области груди, является неадекватным для реальных рабочих условий облучения дефектоскопистов. Гамма-дефектоскопы содержат в своей головке закрытый техногенный источник ионизирующего излучения, поэтому даже в нерабочем положении такие дефектоскопы представляют радиационную опасность. При транспортировке и подготовке гамма-дефектоскопов к работе дефектоскопист находится в непосредственной близости к источнику излучения. Изменяющаяся в течение технологического цикла геометрия облучения при работе с использованием переносных гамма-дефектоскопов на определенных этапах создает резко неравномерное облучение тела дефектоскописта. Поэтому после оценки этапов технологического цикла был предложен вариант более консервативной оценки эффективных доз – изменить место расположения индивидуального дозиметра на рабочей одежде дефектоскописта, переместив индивидуальный дозиметр в область живота. Было выполнено анонимное исследование с участием 15 дефектоскопистов, на их рабочей одежде экспонировались по три индивидуальных дозиметра: два из них экспериментальные и размещались в области груди и живота; третий – контрольный дозиметр, экспонировался в течение квартала на груди в рамках постоянного индивидуального дозиметрического контроля. При контролируемых анонимных измерениях среднее значение эффективной дозы, оценённое по показаниям дозиметров, экспонируемых в области груди, было равно 0,95 мЗв (медиана – 0,92 мЗв, максимальное значение – 1,27 мЗв). Эти значения сравнивались со значениями, полученными с помощью дозиметров, которые экспонировались в области живота, и различия оказались существенны (среднее значение эффективной дозы было равно 1,24 мЗв (медиана – 1,22 мЗв, максимальное значение – 1,78 мЗв).*

**Ключевые слова:** индивидуальный дозиметрический контроль, эффективная доза, индивидуальный эквивалент дозы, гамма-дефектоскоп.

### Введение

При организации и проведении индивидуального дозиметрического контроля персонала (далее – ИДК) основной задачей является получение достоверной информации для оценки уровня внешнего облучения специалистов в величинах, которыми выражены основные дозовые пределы. Эти оцениваемые нормируемые величины, необходимые при принятии мер по обеспечению радиационной без-

опасности и защиты<sup>1</sup>, невозможно измерить на практике [1, 2], поэтому для их определения используют операционные величины [3–7]. В условиях хронического облучения в малых дозах основной нормируемой величиной является эффективная доза (далее – ЭД), которой соответствует операционная величина – индивидуальный эквивалент дозы  $H_p(10)$ . Измерение индивидуального эквивалента дозы  $H_p(10)$  осуществляется при помощи индивидуальных

<sup>1</sup> Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009): Санитарные правила и нормативы СанПиН 2.6.1.2523-09. Утверждены постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 07.07.2009 № 47. Зарегистрированы в Министерстве юстиции Российской Федерации 14.08.2009, регистрационный № 14534 [Norms of radiation safety (NRB-99/2009). Sanitary rules and norms SanPiN 2.6.1.2523-09. Approved by the resolution of the Chief state sanitary doctor of the Russian Federation on 07.07.2009 №. 47. Registered with the Ministry of justice of the Russian Federation on August 14, 2009, registration №. 14534. (In Russ.)]

**Бажин Степан Юрьевич**

Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П. В. Рамзаева  
Адрес для переписки: 197101, Россия, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8; E-mail: s.bazhin@niir.ru

дозиметров, экспонируемых на рабочей одежде персонала. В настоящее время при проведении ИДК дефектоскопистов (персонал группы А) для измерения  $H_p(10)$  и оценки ЭД используется один индивидуальный термолюминесцентный дозиметр, расположенный в области груди. При условиях, когда облучение тела происходит преимущественно спереди или облучение всего тела равномерно, такое расположение индивидуального дозиметра оправдано. Однако в условиях неравномерного облучения, свойственного большому перечню работ с источниками ионизирующего излучения (далее – ИИИ), такое расположение индивидуального дозиметра может быть неадекватным для дальнейшей оценки ЭД, причём измеренные значения могут быть как выше, так и ниже реальной величины ЭД. Поэтому интерпретация результатов измерения  $H_p(10)$  при оценке ЭД должна учитывать дополнительные факторы: поле излучения, энергетический спектр, геометрию облучения. Так как в Российской Федерации предпочтительным методом ИДК является термолюминесцентная дозиметрия, обеспечивающая достоверность и стабильность показаний в широком диапазоне энергий, то решающую роль в адекватности оценки ЭД занимает место расположения индивидуального дозиметра на рабочей одежде работника.

Работы с использованием переносных гамма-дефектоскопов характеризуются изменчивыми условиями облучения персонала – расстояние и расположение ИИИ относительно тела во время всего цикла работы резко меняются. Таким образом, во время выполнения разных этапов дефектоскопических работ облучаются разные области тела. В технологическом цикле гамма-дефектоскопических работ можно выделить следующие дозобразующие этапы:

1. Транспортировка гамма-дефектоскопа к месту проведения работ. ИИИ расположен в радиационной головке дефектоскопа и при доставке переносного радионуклидного дефектоскопа вручную находится на уровне бёдер работника сбоку.

2. Подготовка гамма-дефектоскопа к работе. ИИИ расположен в радиационной головке дефектоскопа и находится на уровне живота работника спереди.

3. Просвечивание изделия. Перемещение работника к пульту управления, выведение ИИИ в рабочее положение и возврат в положение хранения.

В последние годы в Российской Федерации наблюдается увеличение специалистов, занимающихся дефектоскопией. В 2022 г. в отчётных формах представлено 9887 специалистов с профессией/должностью «дефектоскопист рентгено-гаммаграфирования» (для сравнения в 2015 г. таких специалистов было 8105 человек) [8–15].

Дефектоскописты вносят в структуру средних годовых эффективных доз существенный вклад. Наибольшие максимальные годовые эффективные дозы чаще всего характерны именно для данной специальности. Так,

в 2021 и в 2022 гг. в Российской Федерации было выявлено 2 случая превышения предела годовой эффективной дозы (50 мЗв) именно дефектоскопистами [14, 15]. В Российской Федерации нет нормативно-методического документа, устанавливающего требования или дающего рекомендации по организации и проведению ИДК для дефектоскопистов. Лицам, ответственным за радиационную безопасность при проведении дефектоскопических работ, приходится использовать действующие МУ 2.6.1.3015–12 «Организация и проведение индивидуального дозиметрического контроля. Персонал медицинских организаций»<sup>2</sup>. Таким образом, проведение ИДК дефектоскопистов осуществляется без учёта специфики их работы.

Радионуклидные дефектоскопы (гамма-дефектоскопы) представляют радиационную опасность не только при непосредственном проведении просвечивания объекта неразрушающего контроля, но и при транспортировке и хранении дефектоскопов. Мощность амбиентного эквивалента дозы на расстоянии 1 м от гамма-дефектоскопа при нахождении источника в защитном блоке может быть до 20 мкЗв/ч<sup>3</sup>, поэтому при транспортировке и подготовке дефектоскопа к работе экранированный источник располагается близко к телу работника, обеспечивая резко неравномерное облучение тела. На этапах транспортировки и подготовки гамма-дефектоскопа велика вероятность недооценки ЭД по результатам ИДК, при размещении индивидуального дозиметра на груди дефектоскописта.

**Цель исследования** – предложение и обоснование иного места расположения индивидуального дозиметра на рабочей одежде дефектоскопистов для обеспечения достаточной консервативности при оценке эффективных доз.

### Материалы и методы

При проведении настоящего исследования для оценки ЭД были использованы результаты собственных измерений индивидуальных эквивалентов доз  $H_p(10)$  облучения персонала, занимающегося радионуклидной дефектоскопией с использованием переносных гамма-дефектоскопов. Измерения проводились по утверждённой методике выполнения измерений индивидуального эквивалента дозы фотонного излучения  $H_p(10)$  методом термолюминесцентной дозиметрии. В реальных рабочих условиях были экспонированы индивидуальные дозиметры типа DTU-1, содержащие по 2 детектора ДТГ-4 (LiF, Mg, Ti). Считывание показаний производилось на термолюминесцентной дозиметрической установке Harshaw-2000D (США). Основная погрешность результатов измерения индивидуального эквивалента дозы  $H_p(10)$  фотонного излучения в диапазоне от 0,05 до 100 мЗв не превышает пределов  $\pm 20\%$  (при  $p=0,95$ ). Коэффициент перехода от значений  $H_p(10)$  к ЭД, в соответствии с действующими МУ 2.6.1.3015–12, был равен 1.

<sup>2</sup> МУ 2.6.1.3015-12. Организация и проведение индивидуального дозиметрического контроля. Персонал медицинских организаций. Радиационная гигиена. 2012;5(3):77-86. [Methodical guidelines 2.6.1.3015-12. "Organization and management of individual dosimetry of medical staff". Radiation Hygiene. 2012;5(3):77-86. (In Russ.)]

<sup>3</sup> СП 2.6.1.3241-14 "Гигиенические требования по обеспечению радиационной безопасности при радионуклидной дефектоскопии" [SP 2.6.1.3241-14 "Hygienic requirements for ensuring radiation safety during radionuclide flaw detection" (In Russ.)]

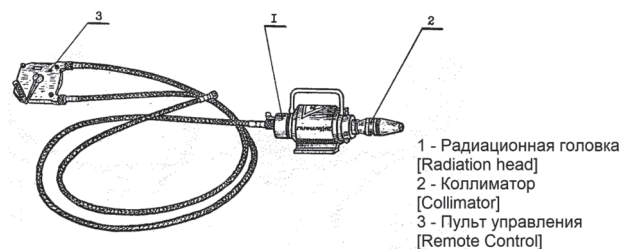
Результаты измерений были обработаны с использованием программного обеспечения Statistica 10.

В работу были включены 15 дефектоскопистов, выполняющих дефектоскопию с использованием переносных гамма-дефектоскопов. Их технологический цикл работы включает различные дозобразующие операции при различной геометрии облучения: транспортировка, сборка, подготовка к работе, просвечивание объекта с безопасного расстояния. Среди описанных этапов только на последнем этапе дефектоскописты находились на достаточном расстоянии от дефектоскопа, а облучение работников можно считать практически равномерным, в остальных случаях облучение резко неравномерное при нахождении источника на уровне бёдер и живота. Поэтому при существующем подходе к организации контроля велика вероятность недооценки ЭД с помощью одного индивидуального дозиметра, расположенного на уровне груди. В качестве демонстрации такой модели облучения было выполнено исследование для группы дефектоскопистов, работающих исключительно с переносными радионуклидными дефектоскопами в период с 14 августа по 8 сентября 2023 г. Работа была организована вахтовым методом без выходных. Были использованы гамма-дефектоскопы «Гаммарид-192/120» с закрытыми радионуклидными источниками типа ГИ192М58 (на основе иридия-192). Все источники были из одной партии: изготовлены в один день, активность на дату начала эксперимента 1,82–1,76 ТБк, на дату окончания эксперимента 1,45–1,40 ТБк. Внешний вид и схема строения радиационной головки дефектоскопа представлены на рисунках 1–3 (схема адаптирована из технического описания и инструкции по эксплуатации дефектоскопа<sup>4</sup>). Масса радиационной головки равна 16 кг, максимальное расстояние от радиационной головки до пульта управления (ручного привода) – 20 м. Условный сценарий работы дефектоскопистов был следующим: в составе бригады два дефектоскописта (реже встречаются бригады численностью 5–6 человек). За одну рабочую смену производится проверка около 20 сварных стыков, на каждый стык



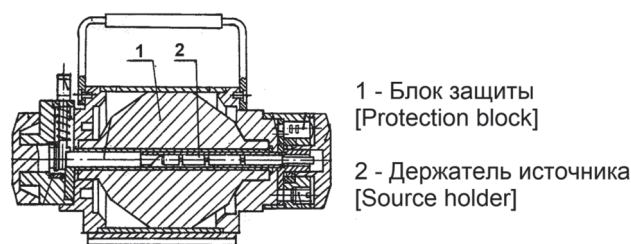
**Рис. 1.** Внешний вид радиационной головки гамма-дефектоскопа «Гаммарид-192/120» с подключенными коллиматором и гибким шлангом пульта управления

[Fig. 1. External view of the radiation head of the Gammarid-192/120 gamma flaw detector with a connected collimator and a flexible hose of the Remote Control]



**Рис. 2.** Схема рабочего комплекта гамма-дефектоскопа «Гаммарид-192/120» (схема адаптирована из технического описания и инструкции по эксплуатации дефектоскопа)

[Fig. 2. Diagram of the working kit of a gamma flaw detector "Gammarid-192/120" (The diagram is adapted from the technical description and operating instructions for the flaw detector)]



**Рис. 3.** Схема строения радиационной головки гамма-дефектоскопа «Гаммарид-192/120» (схема адаптирована из технического описания и инструкции по эксплуатации дефектоскопа)

[Fig. 3. Structure diagram of the radiation head of the gamma flaw detector "Gammarid-192/120" (The diagram is adapted from the technical description and operating instructions for the flaw detector)]

делается от 2 до 5 снимков в разных проекциях. Время каждой экспозиции в зависимости от толщины труб составляет от 10 до 50 с.

Каждый дефектоскопист размещал на своей рабочей одежде одновременно по 3 индивидуальных дозиметра. Первый индивидуальный дозиметр был использован в рамках проведения постоянного ИДК и экспонировался в области груди в течение всего 3 квартала 2023 г. Два других были экспериментальными и экспонировались в течение 26 дней: один дозиметр был размещён в области груди, другой – в области живота (далее – экспериментальные дозиметры). На каждого принимающего участие в исследовании дефектоскописта была заведена анкета, где фиксировалось количество экспозиций и время просвечивания объекта дефектоскопом в секундах.

## Результаты и обсуждение

На подготовительном этапе работы были выявлены случаи неиспользования (неношения) дефектоскопистами индивидуальных дозиметров при проведении дефектоскопических работ с использованием переносных дефектоскопов, когда из 5 контролируемых организаций только в одной показания индивидуальных дозиметров дефектоскопистов отличались от измеренных фоновых

<sup>4</sup> Техническое описание и инструкция по эксплуатации «Гамма-дефектоскоп типа «ГАММАРИД-192» 1.570.000 ТО, СССР, 1988 г. [Technical description and operating instructions "Gamma flaw detector type "GAMMARID-192" 1,570,000 TO, USSR, 1988. (In Russ.)]

значений [16]. Поэтому следующий этап работы проводился в анонимных условиях для минимизации подобных случаев пренебрежения использованием индивидуальных дозиметров. Целесообразность данного решения подтверждают полученные значения, достоверно отличающиеся от фоновых.

На первом этапе были проанализированы анкеты дефектоскопистов и оценены результаты производственного радиационного контроля, выполненного аккредитованной лабораторией. Мощность амбиентного эквивалента дозы на расстоянии 20 м составила 15 мкЗв/ч. Расчётным способом было получено максимальное значение эффективной дозы для каждого работника. Эти значения были сравнены со значениями ЭД, оценёнными по результатам измерения экспериментальных индивидуальных дозиметров, размещённых в области груди. Все значения сведены в таблице 1.

Во всех наблюдаемых случаях значения ЭД, полученные посредством измерений  $H_p(10)$  с помощью экспериментальных индивидуальных дозиметров, превышают значения ЭД, оценённые по результатам производственного радиационного контроля на рабочих местах (в 20 м от гамма-дефектоскопа), в 2–3 раза. Данное различие свидетельствует в пользу того, что дефектоскописты подвергаются воздействию внешнего облучения не только на этапе просвечивания объекта, но и в процессе транспортировки и подготовки гамма-дефектоскопа к работе.

Как было указано выше, на этапе транспортировки и подготовки гамма-дефектоскопа к работе дефектоскопист находится в непосредственной близости к ИИИ, причём облучение тела на этих этапах резко неравномерно. Поэтому сравнение показаний индивидуальных дозиметров, размещённых в области груди и в области живота, представляет практический интерес. На рисунках 4–7 представлены распределения значений, полученных с использованием 3 комплектов дозиметров дефектоскопистов.

На рисунках 4 и 5 представлены результаты измерений экспериментальных дозиметров. В качестве дополнения на рисунке 6 приведены результаты квартальных измерений (3-й квартал 2023 г.), выполненные в рамках постоянного ИДК этих дефектоскопистов. При контролируемых анонимных измерениях среднее значение ЭД было равно 0,95 мЗв (медиана – 0,92 мЗв, максимальное значение – 1,27 мЗв), при квартальных измерениях среднее значение ЭД равно 1,60 мЗв (медиана – 1,56 мЗв, максимальное значение – 2,01 мЗв). Учитывая вахтовый метод работы дефектоскопистов, квартальные показания хорошо согласуются с показаниями дозиметров, размещённых в области груди. Однако при сравнении со значениями, полученными с помощью дозиметров, которые экспонировались в области живота, различия существенны (среднее значение ЭД было равно 1,24 мЗв (медиана – 1,22 мЗв, максимальное значение – 1,78 мЗв).

Таблица 1

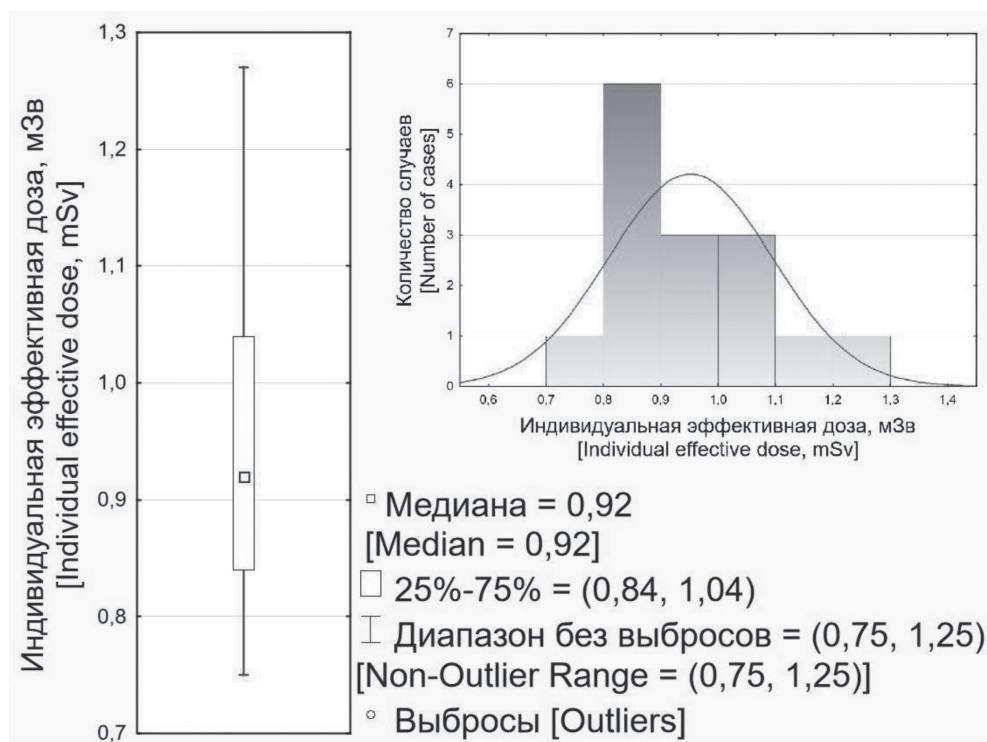
**Оценка эффективных доз дефектоскопистов по результатам производственного радиационного контроля и индивидуального дозиметрического контроля**

[Table 1

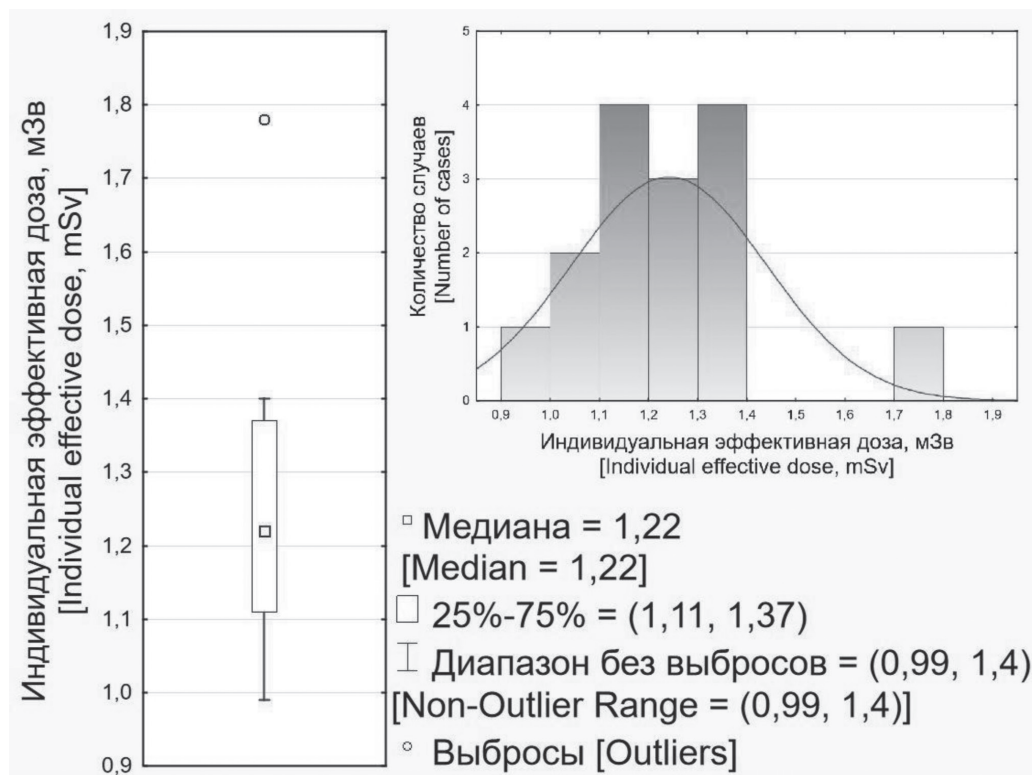
**Estimation of effective doses of flaw detectorists based on the results of industrial radiation monitoring and individual dosimetric monitoring]**

Дефектоскопист [Flaw detectorist]	Время работы источника за период исследования, t (ч) [Operating time of the source during the study period, t (h)]	Максимальные значения дозы облучения сотрудников при мощности амбиентного эквивалента дозы 15 мкЗв/ч на расстоянии 20 м, (мЗв) [Maximum radiation dose values for workers at an ambient dose equivalent rate of 15 $\mu$ Sv/h at a distance of 20 meters, (mSv)]	Показание индивидуального дозиметра, размещённого на груди [Indication of an individual dosimeter placed on the chest]
1	36,26	0,54	0,98
2	23,84	0,36	0,92
3	29,26	0,44	1,01
4	38,81	0,58	0,75
5	25,82	0,39	0,89
6	21,03	0,32	0,85
7	23,17	0,35	1,27
8	21,6	0,32	0,86
9	25,92	0,40	1,09
10	20,4	0,30	1,16
11	26,25	0,40	0,84
12	34,87	0,52	1,04
13	30,73	0,46	0,82
14	18,01	0,27	0,84
15	26,99	0,40	0,93

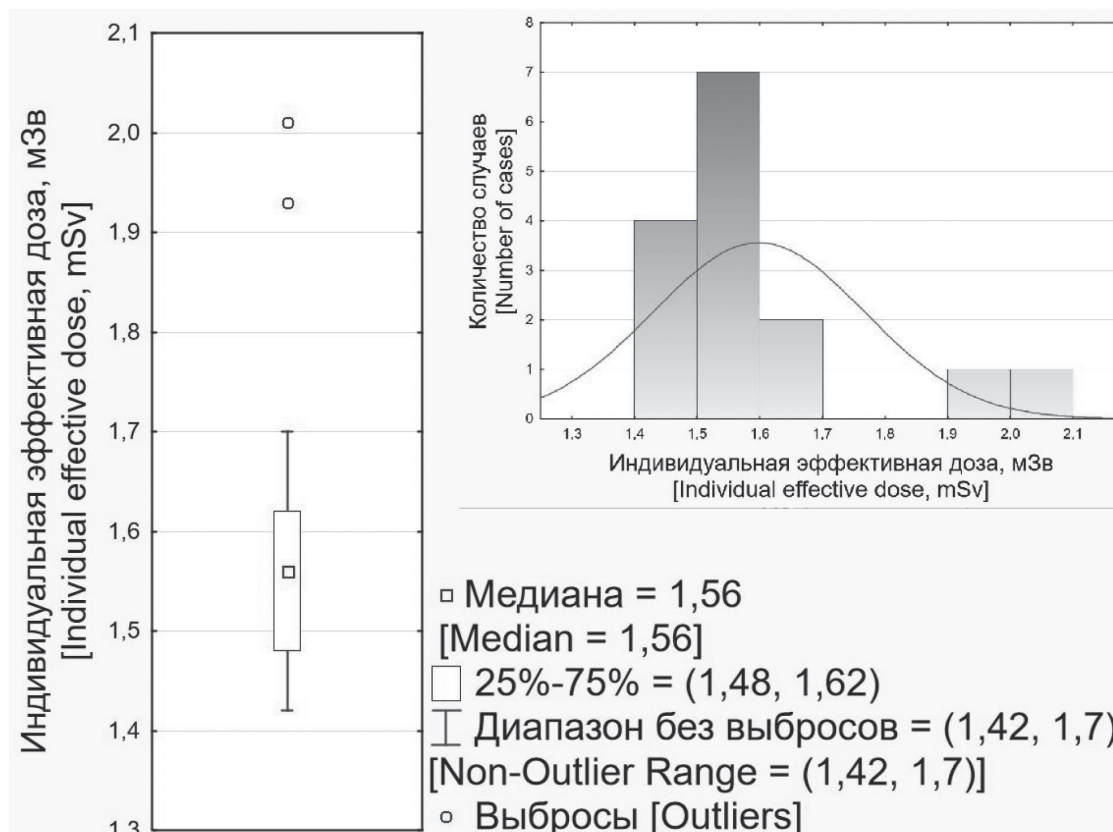




**Рис. 4.** Распределение индивидуальных эффективных доз дефектоскопистов, оценённых по показаниям экспериментального дозиметра, экспонируемого в области груди  
[Fig. 4. Distribution of individual effective doses of flaw detectorists, estimated from the readings of an experimental dosimeter exposed in the chest area]



**Рис. 5.** Распределение индивидуальных эффективных доз дефектоскопистов, оценённых по показаниям экспериментального дозиметра, экспонируемого в области живота  
[Fig. 5. Distribution of individual effective doses of flaw detectorists, estimated from the readings of an experimental dosimeter exposed in the abdomen area]



**Рис. 6.** Распределение индивидуальных квартальных эффективных доз дефектоскопистов, оценённых по показаниям дозиметра, экспонируемого в области груди  
[Fig. 6. Distribution of individual quarterly effective doses of flaw detectorists, estimated from the readings of a dosimeter exposed in the chest area]

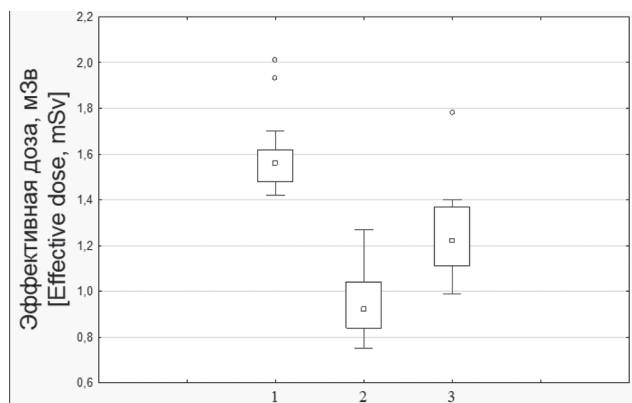
Позже между собой были сравнены показания экспериментальных дозиметров, размещенных в области груди и в области живота. Значения измеренных величин и соотношение между ними наглядно представлены в таблице 2.

Практически для всех приведённых в таблице 2 случаев, за исключением одного, соотношение Живот/Грудь оказалось больше 1. Такое соотношение свидетельствует о том, что расположение индивидуального дозиметра на уровне груди не является оптимальным для оценки эф-

**Результаты измерений  $H_p(10)$  при различном расположении индивидуальных дозиметров у специалистов, занимающихся дефектоскопией в нестационарных условиях с использованием гамма-дефектоскопа «Гаммарид-192/120»**  
[Table 2  
Results of  $H_p(10)$  measurements at different locations of individual dosimeters for the workers involved in flaw detection in non-stationary conditions using the gamma flaw detector «Gammarid-192/120»]

Дефектоскопист [Flaw detectorist]	Живот, $H_p(10)$ , мЗв [Abdomen, $H_p(10)$ , mSv]	Грудь, $H_p(10)$ , мЗв [Chest, $H_p(10)$ , mSv]	Соотношение Живот/Грудь [Ratio Abdomen/ Chest]
1	1,37	0,98	1,40
2	1,11	0,92	1,21
3	1,19	1,01	1,18
4	1,40	0,75	1,87
5	1,16	0,89	1,30
6	1,40	0,85	1,65
7	1,14	1,27	0,90
8	1,31	0,86	1,52
9	1,22	1,09	1,12
10	1,22	1,16	1,05

Дефектоскопист [Flaw detectorist]	Живот, $H_p(10)$ , мЗв [Abdomen, $H_p(10)$ , mSv]	Грудь, $H_p(10)$ , мЗв [Chest, $H_p(10)$ , mSv]	Соотношение Живот/Грудь [Ratio Abdomen/ Chest]
11	1,24	0,82	1,51
12	1,05	0,84	1,25
13	0,99	0,93	1,07
14	1,02	0,84	1,21
15	1,78	1,04	1,71



**Рис. 7.** Сравнение индивидуальных эффективных доз специалистов, занимающихся дефектоскопией в нестационарных условиях с использованием гамма-дефектоскопа «Гаммарид-192/120» при различном расположении индивидуального дозиметра (1 – 3 квартал, 2 – грудь, 3 – живот)

[Fig. 7. Comparison of individual effective doses of the workers involved in flaw detection in non-stationary conditions using the gamma flaw detector («Gammarid-192/120») with different locations of the individual dosimeter (1 – 3 quarter, 2 – chest, 3 – abdomen)]

эффективных доз. Расположение индивидуального дозиметра в области живота для данной категории персонала будет более показательным и позволит с разумной долей консерватизма оценивать ЭД.

### Заключение

Средние годовые дозы дефектоскопистов с 2015 по 2022 г. являются одними из наиболее существенных в структуре профессионально облучения [8–15]. При действующих подходах к проведению ИДК и организации системы учёта индивидуальных доз происходит недооценка ЭД, особенно дефектоскопистов, работающих с переносными гамма-дефектоскопами. Изменяющиеся условия облучения в течение технологического цикла делают оценку ЭД с помощью индивидуального дозиметра, размещённого в области груди, неадекватной. Это заключение подтверждает полученное в ходе исследования соотношение показаний индивидуальных дозиметров,

размещённых на груди и в области живота. Практически во всех случаях дозиметр, размещённый в области живота, показывал большие значения  $H_p(10)$  для каждого дефектоскописта.

Расчёт максимальной ЭД по результатам производственного радиационного контроля также занижает реальные значения ЭД, т.к. воздействие внешнего облучения от гамма-дефектоскопа осуществляется не только при просвечивании объекта, но и в процессе транспортировки и подготовки гамма-дефектоскопа к работе.

Кроме того, в проведении ИДК дефектоскопистов необходимо отразить ещё один критерий. В 2022 г. были утверждены МУ 2.6.1.3747–22 «Контроль индивидуальных эквивалентных доз внешнего облучения хрусталиков глаз»<sup>5</sup>, в которых дефектоскопистов относят ко второй категории персонала в зависимости от уровня облучения хрусталиков глаз (умеренный уровень облучения хрусталиков глаз). Для такого персонала оценку эквивалентной дозы в хрусталике глаза проводят косвенным образом по результатам измерений  $H_p(10)$  с помощью незранированного дозиметра на уровне шеи или головы.

Таким образом, предлагается следующий подход в проведении ИДК дефектоскопистов:

1. Дефектоскописты, работающие с переносными гамма-дефектоскопами, обеспечиваются двумя индивидуальными дозиметрами, откалиброванными в терминах  $H_p(10)$ .
2. Экспонирование дозиметров производится постоянно в течение работы с ИИИ. Периодичность считываний показаний – ежеквартально.
3. Один индивидуальный дозиметр размещается в области живота. Он предназначен для оценки ЭД.
4. Второй дозиметр размещается в области шеи или головы. По этому дозиметру оценивается эквивалентная доза в хрусталике глаза.
5. Если показания второго дозиметра за год не превышают 10 мЗв, эквивалентная доза в хрусталике глаза принимается равной измеренному таким дозиметром значению.
6. Если показания второго дозиметра за год превышают 10 мЗв, дефектоскописту, получившему такое значение  $H_p(10)$ , в дальнейшем выдаётся специализированный дозиметр для оценки эквивалентной дозы в хрусталике глаза.

<sup>5</sup> МУ 2.6.1.3747–22 «Контроль индивидуальных эквивалентных доз внешнего облучения хрусталиков глаз персонала» (утв. Федеральной службой по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека 17.05.2022). [Methodical guidelines 2.6.1.3747–22 «Control of individual equivalent doses of external irradiation of the lenses of the eyes of personnel» (In Russ.)]

### Сведения о личном вкладе авторов в работу над статьей

Бажин С.Ю. осуществлял общее научное руководство исследованием, разработал дизайн исследования, определил цели и задачи, выполнил анализ данных, отредактировал и предоставил окончательный вариант рукописи для публикации в журнале.

Шлеенкова Е.Н. провела литературный поиск, осуществила подготовку средств измерения и выполнила градуировку детекторов, выполнила измерения индивидуальных эквивалентов доз, отредактировала промежуточный вариант рукописи.

Богатырёва В.Ю. провела литературный поиск и выполнила группировку и структурирование полученных данных.

### Информация о конфликте интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов при выполнении работы и подготовке данной статьи.

### Сведения об источнике финансирования

Исследование не имело спонсорской поддержки.

### Литература

1. International Commission on Radiological Protection. (1990). Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60 // Annals of the ICRP. 1990. Vol. 21, No 1-3. P. 1-201.
2. International Commission on Radiological Protection 2007 The Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103 // Annals of the ICRP. 2007. Vol. 37. P. 1-332.
3. ICRU Report 43: Measurement of dose equivalents from external radiation sources, Part 2 // ICRU. 1988. Vol. os22, Issue 2. P. 51.
4. ICRU Report 51: Quantities and units in radiation protection dosimetry // ICRU. 1993. Vol. os-26, Issue 2. P. 19.
5. ICRU Report 57: Conversion coefficients for use in radiological protection against external radiation // ICRU. 1998. Vol. os-29, Issue 2. P. 137.
6. ICRU Report 60: Fundamental quantities and units for ionizing radiation // ICRU. 1998. Vol. os-31, Issue 1. P. 24.
7. ICRU Report 66: Determination of Operational Dose Equivalent Quantities For Neutrons // Journal of the ICRU. 2001. Vol. 1, Issue 3. P. 94.1 (3).
8. Барковский А.Н., Барышков Н.К., Братилова А.Н. и др. Дозы облучения населения Российской Федерации в 2015 году: информационный сборник. СПб., 2016. 72 с.
9. Барковский А.Н., Барышков Н.К., Братилова А.А. и др. Дозы облучения населения Российской Федерации в 2016 году: информационный сборник. СПб., 2017. 78 с.
10. Барковский А.Н., Ахматдинов Руслан Р., Ахматдинов Рустам Р. и др. Дозы облучения населения Российской Федерации в 2017 году: информационный сборник. СПб., 2018. 72 с.
11. Барковский А.Н., Ахматдинов Руслан Р., Ахматдинов Рустам Р. и др. Дозы облучения населения Российской Федерации в 2018 году: информационный сборник. СПб., 2019. 72 с.
12. Барковский А.Н., Ахматдинов Руслан Р., Ахматдинов Рустам Р. и др. Дозы облучения населения Российской Федерации в 2019 году: информационный сборник. СПб., 2020. 70 с.
13. Барковский А.Н., Ахматдинов Руслан Р., Ахматдинов Рустам Р. и др. Дозы облучения населения Российской Федерации в 2020 году: информационный сборник. СПб., 2021. 83 с.
14. Барковский А.Н., Ахматдинов Руслан Р., Ахматдинов Рустам Р. и др. Радиационная обстановка на территории Российской Федерации в 2021 году: Справочник. СПб., 2022. 72 с.
15. Барковский А.Н., Ахматдинов Руслан Р., Ахматдинов Рустам Р. и др. Радиационная обстановка на территории Российской Федерации в 2022 году: Справочник. СПб., 2023. 66 с.
16. Бажин С.Ю., Шлеенкова Е.Н., Богатырёва В.Ю., Ильин В.А. Сравнение эффективных доз персонала, выполняющего дефектоскопию в стационарных и в нестационарных условиях. Радиационная гигиена. 2023;16(4):64-69. <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2023-16-4-64-69>.

Поступила: 22.03.2024 г.

**Бажин Степан Юрьевич** – заведующий лабораторией радиационного контроля, старший научный сотрудник Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека. **Адрес для переписки:** 197101, Россия, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8; E-mail: s.bazhin@niirg.ru

**Шлеенкова Екатерина Николаевна** – младший научный сотрудник лаборатории радиационного контроля Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия

**Богатырёва Виктория Юрьевна** – младший научный сотрудник лаборатории радиационного контроля Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия

**Для цитирования:** Бажин С.Ю., Шлеенкова Е.Н., Богатырёва В.Ю. Консервативная оценка доз внешнего облучения персонала при проведении радионуклидной дефектоскопии // Радиационная гигиена. 2024. Т. 17, № 2. С. 76–85. DOI: 10.21514/1998-426X-2024-17-2-76-85



## Conservative assessment of external radiation dose for staff in the event of radionuclide flaw detection

Stepan Yu. Bazhin, Ekaterina N. Shleenkova, Victoria Yu. Bogatyreva

Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing, Saint-Petersburg, Russia

*The article proposes a new approach to assessing the effective doses of flaw detectorists performing flaw detection using portable radionuclide flaw detectors (gamma flaw detectors). The existing approach to assessing effective doses, based on the use of one individual dosimeter placed on work clothes in the chest area, is inadequate for the actual working conditions of exposure of flaw detectorists. Gamma flaw detectors contain a closed man-made source of ionizing radiation in their head, therefore, even in the non-working position, such flaw detectors pose a radiation hazard. When transporting and preparing gamma flaw detectors for work, the flaw detector operator is in close proximity to the radiation source. The irradiation geometry changing during the technological cycle when working with portable gamma flaw detectors at certain stages creates a sharply uneven irradiation of the flaw detectorist's body. Therefore, after assessing the stages of the technological cycle, an option was proposed for a more conservative assessment of effective doses – to change the location of the individual dosimeter on the working clothes of the flaw detectorist, moving the individual dosimeter to the abdominal area. An anonymous study was carried out with the participation of 15 flaw detectorists; three individual dosimeters were displayed on their working clothes: two of them were experimental and were placed in the chest and abdomen; the third (a control dosimeter) was exposed for the quarter on the chest as part of constant individual dosimetric monitoring. In controlled anonymous measurements, the average effective dose, estimated from the readings of dosimeters exposed in the chest area, was equal to 0,95 mSv (median – 0,92 mSv, maximum value – 1,27 mSv). These values were compared with values obtained using dosimeters that were exposed to the abdomen, and the differences were significant (the average effective dose was 1,24 mSv (median – 1,22 mSv, maximum value – 1,78 mSv).*

**Key words:** individual dosimetric control, effective dose, individual dose equivalent, gamma flaw detector.

### Personal contribution of the authors

Bazhin S.Yu. provided general scientific supervision of the study, developed the study design, defined goals and objectives, performed data analysis, edited and submitted the final version of the manuscript for publication in the journal.

Shleenkova E.N. Conducted a literature search, carried out the preparation of measuring instruments and calibrated the detectors, performed measurements of individual dose equivalents, and edited an intermediate version of the manuscript.

Bogatyreva V.Yu. conducted a literature search and grouped and structured the obtained data.

### Conflicts of interest

The authors declare that they have no conflicts of interest when conducting the study and preparing this article.

### Sources of funding

The study had no sponsorship.

### References

1. International Commission on Radiological Protection. (1990) Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60. *Annals of the ICRP*. 1990;21(1-3): 1-201.
2. International Commission on Radiological Protection 2007 The Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. *Annals of the ICRP*. 2007;37: 1–332.
3. ICRU Report 43: Measurement of dose equivalents from external radiation sources, Part 2. *ICRU*. 1988;os-22(2): 51.
4. ICRU Report 51: Quantities and units in radiation protection dosimetry. *ICRU*. 1993;os-26(2): 19.
5. ICRU Report 57: Conversion coefficients for use in radiological protection against external radiation. *ICRU*. 1998;os-29(2): 137.
6. ICRU Report 60: Fundamental quantities and units for ionizing radiation. *ICRU*. 1998;os-31(1): 24.
7. ICRU Report 66: Determination of Operational Dose Equivalent Quantities For Neutrons. *Journal of the ICRU*. 2001;1(3): 94.
8. Barkovsky AN, Baryshkov NK, Bratilova AA, Kormanovskaya TA, Repin LV, Romanovich IK, et al. Doses for the population of the Russian Federation in 2015: information collection. Saint-Petersburg: NIIRG; 2016: 72 p. (In Russian).
9. Barkovsky AN, Baryshkov NK, Bratilova AA, Bruk GYa, Vorobiev BF, Kormanovskaya TA, et al. Doses for the population of the Russian Federation in 2016: information collection. Saint-Petersburg: NIIRG; 2017: 78 p. (In Russian).
10. Barkovsky AN, Ruslan R. Akhmatdinov, Rustam R. Akhmatdinov, Baryshkov NK, Biblin AM, Bratilova AA, et al. Doses for the population of the Russian Federation in 2017:

**Stepan Yu. Bazhin**

Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev

**Address for correspondence:** Mira Str., 8, Saint-Petersburg, 197101, Russia; E-mail: s.bazhin@niirg.ru

- information collection. Saint-Petersburg: NIIRG; 2018: 72 p. (In Russian).
11. Barkovsky AN, Ruslan R. Akhmatdinov, Rustam R. Akhmatdinov, Baryshkov NK, Biblin AM, Bratilova AA, et al. Doses for the population of the Russian Federation in 2018: information collection. Saint-Petersburg: NIIRG; 2019: 72 p. (In Russian).
  12. Barkovsky AN, Ruslan R. Akhmatdinov, Rustam R. Akhmatdinov, Baryshkov NK, Biblin AM, Bratilova AA, et al. Doses for the population of the Russian Federation in 2019: information collection. Saint-Petersburg: NIIRG; 2020: 70 p. (In Russian).
  13. Barkovsky AN, Ruslan R. Akhmatdinov, Rustam R. Akhmatdinov, Baryshkov NK, Biblin AM, Bratilova AA, et al. Doses for the population of the Russian Federation in 2020: information collection. Saint-Petersburg: NIIRG; 2021: 83 p. (In Russian).
  14. Barkovsky AN, Ruslan R. Akhmatdinov, Rustam R. Akhmatdinov, Baryshkov NK, Biblin AM, Bratilova AA, et al. Radiation situation on the territory of the Russian Federation in 2021: A Handbook. Saint-Petersburg: NIIRG; 2022: 72 p. (In Russian).
  15. Barkovsky AN, Ruslan R. Akhmatdinov, Rustam R. Akhmatdinov, Baryshkov NK, Biblin AM, Bratilova AA, et al. Radiation situation on the territory of the Russian Federation in 2022: A Handbook. Saint-Petersburg: NIIRG; 2023: 66 p. (In Russian).
  16. Bazhin SYu, Shleenkova EN, Bogatyreva VYu, Ilyin VA. Comparison of effective doses for personnel performing flaw detection in stationary conditions and in situ. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2023;16(4): 64-69. (In Russian) <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2023-16-4-64-69>.

Received: March 22, 2024

**For correspondence: Stepan Yu. Bazhin** – Head of the Laboratory of Radiation Control, Senior Researcher, Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing, Saint-Petersburg, Russia (Mira Str., 8, Saint-Petersburg, 197101, Russia; E-mail: s.bazhin@niirg.ru)

**Ekaterina N. Shleenkova** – Junior Researcher of the Laboratory of Radiation Control, Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing, Saint-Petersburg, Russia

**Victoria Yu. Bogatyreva** – Junior Researcher of the Laboratory of Radiation Control, Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing, Saint-Petersburg, Russia

**For citation: Bazhin S.Yu., Shleenkova E.N., Bogatyreva V.Yu. Conservative assessment of external radiation dose for staff in the event of radionuclide flaw detection. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2024. Vol. 17, No. 2. P. 76–85. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2024-17-2-76-85**