

Условия труда и значения среднегодовых эффективных доз дефектоскопистов в Российской Федерации и за рубежом

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

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

Представлен обзор, включающий описание работы и основные положения об условиях труда дефектоскопистов с позиций системы обеспечения радиационной безопасности и радиационного контроля. Указаны значения среднегодовых эффективных доз дефектоскопистов в Российской Федерации и за рубежом. Для представления были выбраны официальные источники информации о дозах в Российской Федерации и в мире, полученные по результатам индивидуального дозиметрического контроля. Данные собственных измерений в данный обзор включены не были. Учтено различие в наименовании специальности исследуемой группы персонала на русском и английском языках и различие в обработке первичной измерительной информации в отечественных и зарубежных источниках информации. Демонстрируется актуальность необходимости разрешения вопросов радиационной безопасности и радиационного контроля персонала, занимающегося дефектоскопией, в связи с тем, что в Российской Федерации существуют нормативно-методические документы, затрагивающие организацию и проведение индивидуального дозиметрического контроля персонала медицинской сферы и атомной промышленности, но они не включают персонал, проводящий дефектоскопию. Поэтому индивидуальный дозиметрический контроль дефектоскопистов осуществляется аккредитованными лабораториями в соответствии с положениями МУ 2.6.1.3015-12 «Организация и проведение индивидуального дозиметрического контроля. Персонал медицинских организаций», т.е. без учёта сценариев облучения персонала, занятого проведением дефектоскопических работ, и специфики его работы. Полученные таким образом дозы внесены в региональные и федеральные банки данных доз облучения персонала. При внесении значений доз в банки данных отсутствует подразделение персонала на персонал, выполняющий дефектоскопию в стационарных и в нестационарных условиях, поэтому осуществляется усреднение доз персонала, проводящего различные виды дефектоскопии.

Ключевые слова: индивидуальный дозиметрический контроль, дефектоскопия, неразрушающий контроль, среднегодовая эффективная доза.

Введение

Среди специальностей персонала, работающего с источниками ионизирующего излучения (ИИИ), существуют категории персонала, которые были достаточно хорошо изучены с позиций организации и проведения индивидуального дозиметрического контроля (ИДК). Хорошо изучены медицинские специальности и специальности, обеспечивающие работу атомной отрасли, для которых существуют методические документы по индивидуальному дозиметрическому контролю. Так, на протяжении многих лет ФБУН НИИРГ им. П.В. Рамзаева проводил научно-исследовательские работы по рационализации и оптимизации ИДК в медицинских организациях. Данные работы включали в себя и специфические виды контроля: определение эквивалентов доз внешне-

го облучения хрусталика глаза и кожи отдельных специальностей в медицинских организациях, выполняемые как подготовительный этап к возможному переходу на новый годовой предел дозы на хрусталик глаза, равный 20 мЗв [1,2].

Промышленные специальности изучены недостаточно. Организация ИДК для дефектоскопистов в отечественных научных публикациях представлена скупо, особенно в рецензируемых изданиях, а нормативно-методические документы по организации и проведению ИДК для данной специальности не разработаны. В большинстве случаев предприятия данной отрасли и аккредитованные лаборатории при проведении ИДК руководствуются положениями МУ 2.6.1.3015-12 «Организация и проведение индивидуального дозиметрического кон-

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@niirg.ru

троля. Персонал медицинских организаций»¹ в вопросах выбора операционных величин, периодичности контроля, количества индивидуальных дозиметров, места их расположения и трактовки результатов измерений. Таким образом, к различным специальностям и профессиональным отраслям применяются одинаковые подходы в организации и проведении контроля, что является не вполне корректным и не учитывает сценарии облучения и специфику работы всей когорты специалистов при различных условиях работы. Непосредственное применение положений МУ 2.6.1.3015-12 и отраслевых методических указаний Росатома к другим отраслям деятельности является некорректным также и с юридических позиций. Поэтому назрела необходимость разработки методического документа, регламентирующего все особенности ИДК персонала, занятого в данных областях деятельности.

Таким образом, целью настоящего обзора является анализ доз внешнего облучения дефектоскопистов в России и некоторых зарубежных странах, а также демонстрация существующих трудностей в организации и проведении радиационного контроля для этой специальности.

В качестве материала исследования при осуществлении литературного поиска использовались научные публикации из библиографических баз Pubmed/MEDLINE, Google Scholar, eLIBRARY. Дополнительно были рассмотрены документы НКДАР ООН и Международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ), а также информационные сборники о дозах облучения населения в Российской Федерации. Ключевыми словами для поиска являлись: «Дефектоскопия», «Неразрушающий контроль», «Effective doses in nondestructive testing», «Effective doses in Industrial radiography».

Всего по указанным поисковым запросам было найдено 332 литературных источника. После проведения поискового запроса по ключевым словам были исключены дублирующие результаты. Была проведена селекция полученных источников по текстовому содержанию, обращали внимание на год публикации, дизайн исследований, цель, методологию и результаты.

Условия работы и обеспечение радиационной безопасности дефектоскопистов

Дефектоскопические методы основаны на законах ослабления ионизирующего излучения веществом: при просвечивании контролируемого объекта пучком рентгеновского/гамма-излучения формируется теневое изображение его внутренней структуры, далее с использованием различных систем регистрации прошедшего через объект контроля излучения оценивается качество контролируемого объекта. В зарубежной литературе термин «Дефектоскопия» обозначается иначе и чаще – это «*Industrial radiography*» или «*Nondestructive testing*», что в дословном переводе на русский язык означает «Промышленная радиография» и «Неразрушающий контроль» соответственно, а специалисты данной сферы – радиографы и операторы неразрушающего контроля («*radiograph*», «*nondestructive testing operator*»).

По данным опубликованного в 2022 г. научного отчёта НКДАР ООН [3], за период наблюдения с 1975 г. в мире увеличивается количество специалистов, занимающихся дефектоскопией. За первые 10 лет (1975–1984 гг.) число наблюдаемых рабочих, занимающихся дефектоскопией, увеличилось с 72 000 до 116 000 человек. Затем количество учтённых работников оставалось примерно на том же уровне и составляло примерно 113 000 человек в 2014 г.

По данным официальных источников, с каждым годом количество дефектоскопистов в Российской Федерации увеличивается. На рисунке 1 представлено количество дефектоскопистов в Российской Федерации за период 2015–2021 гг. Значения, отображенные на графике, взяты из федеральных банков данных доз облучения персонала [4–10].

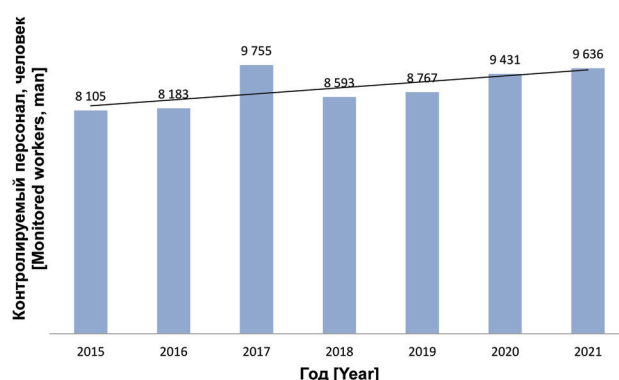


Рис. 1. Динамика изменения количества дефектоскопистов в Российской Федерации за период 2015–2021 гг. [4–10]

[Fig. 1. Dynamics of changes in the number of nondestructive testing operators in the Russian Federation for the period 2015–2021 [4–10]]

В Российской Федерации в период 2015–2021 гг. наблюдается плавное увеличение количества человек, занимающихся дефектоскопией, – с 8105 человек в 2015 г. до 9636 человек в 2021 г. [4–10]. Количество дефектоскопистов в 2017 г., равное 9755 человек, выбивается из тренда в сравнении с двумя соседними годами, но не вносит корректив в направление линии тренда.

МАГАТЭ разработало систему классификации источников ионизирующего излучения [11]. В этой системе наиболее опасным с точки зрения воздействия на здоровье источником присвоена категория 1. Чем выше присвоенный номер категории, тем ниже уровень потенциального риска. В самой классификации выделены 5 различных категорий. Источники, используемые в промышленной радиографии, отнесены ко 2 категории, т.е. являются опасными. Основными применяемыми ИИИ в дефектоскопии во всём мире являются рентгеновские установки с напряжением трубки, находящимся в диапазоне 200–300 кВ, а также радионуклидные источники на основе ¹⁹²Ir и ⁷⁵Se, реже применяются также источники, содержащие ⁶⁰Co.

¹ 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.)]

В особых случаях используются портативные ускорители, которые хорошо подходят для тестирования очень толстых объектов и обычно не используются в рутинных процедурах, а применяются для конкретных проектов. Для бетонных объектов толщиной до 1 м используют бетатрон с энергией излучения, равной 6 МэВ [12].

Наиболее часто используемым из генерирующих дефектоскопов является рентгеновский дефектоскоп. Рентгеновский дефектоскоп является ИИИ только после подачи напряжения на рентгеновскую трубку. Поэтому при перевозке и хранении обесточенные рентгеновские дефектоскопы не представляют радиационной опасности и не требуют принятия специальных мер радиационной защиты.

Несмотря на явные преимущества в удобстве, дешевизне и безопасности генерирующих источников, их внедрение вызвало появление ряда трудноразрешимых задач в проведении радиационного контроля. В наибольшей мере это проявляется в трудности измерения доз и мощностей доз импульсного излучения. Значения мощностей доз в импульсах, даже на расстоянии рабочих мест, находятся за пределами возможностей измерений, выполняемых по действующим в настоящее время методикам и на существующих измерительных приборах [13]. При проведении ИДК возможно использовать индивидуальные дозиметры на основе термолюминесцентных детекторов, т.к. многие данные свидетельствуют, что для мощностей доз до 10^9 Гр·с⁻¹ для LiF и до 10^{10} Гр·с⁻¹ для Li₂B₄O₇:Mn их отклик не зависит от мощности дозы [13].

В России согласно СП 2.6.1.3241-14² в радионуклидной дефектоскопии применяются источники на основе радионуклидов ⁶⁰Co, ⁷⁵Se, ¹³⁷Cs, ¹⁷Tm, ¹⁹²Ir. Также используются радиоизотопные источники тормозного излучения на основе бета-излучающих радионуклидов ⁹⁰Sr + ⁹⁰Y, ¹⁴⁷Pm, ²⁰⁴Tl, радионуклидные источники нейтронов и другие закрытые радионуклидные источники.

Дефектоскопию в зависимости от условий труда подразделяют на дефектоскопию в стационарных условиях и дефектоскопию в нестационарных условиях. Соответственно, по мобильности дефектоскопы можно поделить на 2 типа: стационарные и переносные.

При дефектоскопии в стационарных условиях неразрушающий контроль проводится в специализированных защитных боксах, а персонал располагается в комнатах управления, обеспечивающих его радиационную защиту, и управляет дефектоскопом дистанционно. Поэтому для персонала, проводящего дефектоскопию в стационарных условиях, обеспечивается необходимый уровень радиационной безопасности, и не возникает проблем с организацией и проведением радиационного контроля, т.к. работы производятся на достаточном расстоянии от источника и облучение всего тела персонала достаточно равномерно, поэтому одного индивидуального дозиметра, расположенного на поверхности тела в районе груди,

достаточно, чтобы по его показаниям с помощью соответствующего коэффициента перехода оценить значение эффективной дозы.

При некоторых видах работ нет возможности проводить дефектоскопию в стационарных условиях, и персонал проводит дефектоскопию с использованием переносных дефектоскопов. Нужно понимать, что проведение дефектоскопии с использованием переносных источников излучения больших энергий в нестационарных условиях чревато возможным нахождением в зоне проведения работ посторонних лиц, а эффективные технические средства защиты и контроля не всегда способны обеспечить безопасность персонала и населения. НКДАР ООН констатировал, что радиологические инциденты, приводящие к высоким уровням облучения, чаще происходят при проведении дефектоскопии в нестационарных условиях [14]. По этой причине было зарегистрировано значительное количество инцидентов, связанных с проведением дефектоскопии в нестационарных условиях, когда пострадали не только дефектоскописты, но и случайные лица из населения [15].

В отечественных нормативных документах описаны следующие требования, касающиеся проведения дефектоскопии с рентгеновскими стационарными и переносными источниками и проведения дефектоскопии с радионуклидными источниками.

В СанПиН 2.6.1.3164-14³ указано, что в организациях, осуществляющих рентгеновскую дефектоскопию, должны быть организованы рентгенодефектоскопические лаборатории. Устройство таких лабораторий определяется наличием и назначением рентгеновских дефектоскопов, их техническими параметрами, а также объемом и характером выполняемых работ.

В СП 2.6.1.3241-14 прописаны требования к устройству радионуклидных дефектоскопов. Радиационная защита дефектоскопа не должна иметь внутренних дефектов, снижающих защитные свойства. При хранении источник должен находиться в защитном блоке радионуклидного дефектоскопа. Конструкция радионуклидного дефектоскопа должна быть надёжной и устойчивой к внешним воздействиям, должна ограничивать доступ к источнику посторонних лиц и иметь адекватную систему сигнализации (электрической, механической, цветовой, радиометрической, звуковой). Защитные боксы, где размещают стационарные радионуклидные дефектоскопы, должны быть обеспечены системой автоматической блокировки входной двери, когда источник переводят в рабочее положение. Пульт управления стационарными дефектоскопами должен быть размещён в отдельном помещении, должным образом обеспечивающим радиационную защиту персонала.

На рисунках 2 и 3 показаны примеры организации дефектоскопии для проведения как в стационарных, так и в нестационарных условиях.

² 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.)]

³ СанПиН 2.6.1.3164-14 «Гигиенические требования по обеспечению радиационной безопасности при рентгеновской дефектоскопии» [SanPiN 2.6.1.3164-14 "Hygienic requirements to ensure radiation safety in X-ray flaw detection" (In Russ.)]

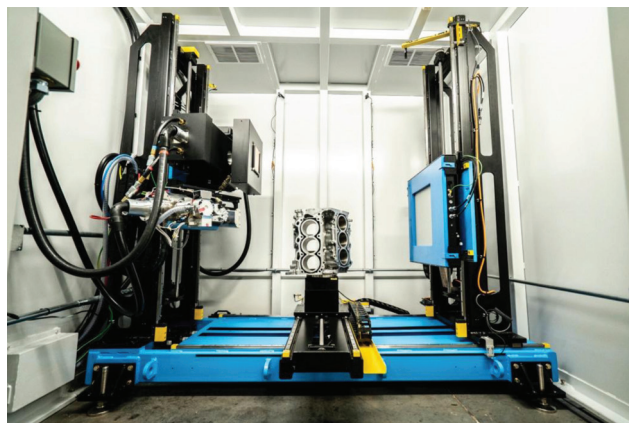


Рис. 2. Пример проведения дефектоскопии в стационарных условиях в специально оборудованном помещении при дистанционной работе персонала [16]

[Fig. 2. An example of nondestructive testing in stationary conditions in a specially equipped room with remote work of personnel [16]]

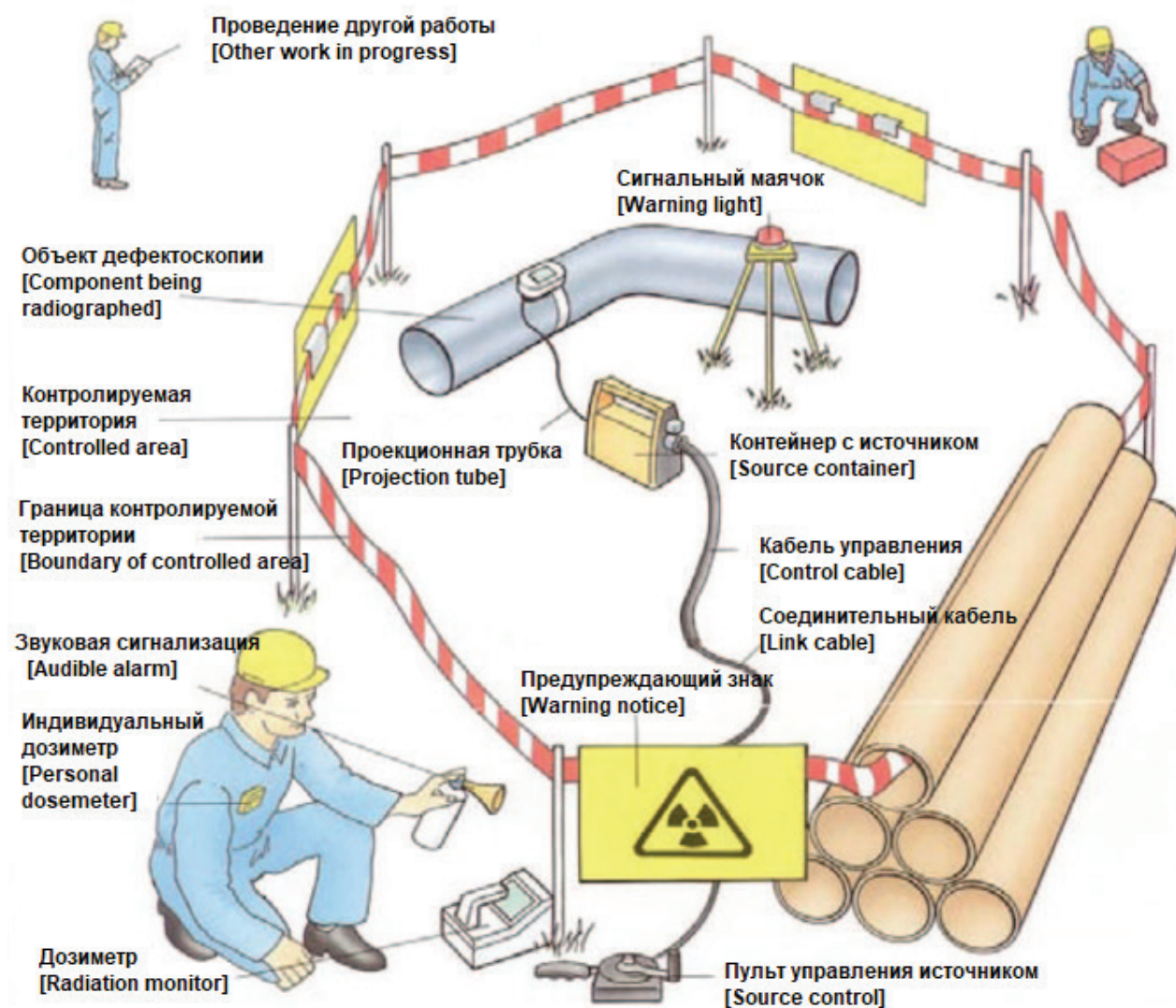


Рис. 3. Пример проведения дефектоскопии в нестационарных условиях с радионуклидным источником ионизирующего излучения. Адаптировано из [17]

[Fig. 3. An example of nondestructive testing in non-stationary conditions with a radionuclide source of ionizing radiation. Adapted from [17]]

На рисунке 3, демонстрируемом в буклете МАГАТЭ по обеспечению радиационной защиты дефектоскопистов [17], изображена организация рабочего места и основных мероприятий по безопасности рабочего процесса при проведении дефектоскопии в нестационарных условиях. Этот рисунок наглядно иллюстрирует работу одной бригады с переносным дефектоскопом с радионуклидным источником и отражает требования СП 2.6.1.3241-14, где перечислены следующие особенности работ с переносными радионуклидными дефектоскопами. При проведении работ в нестационарных условиях в одноэтажных цехах и на открытых площадках, где нет защитных боксов, работу проводят таким образом, чтобы направление пучка излучения было преимущественно вниз. Когда невозможно обеспечить такое положение пучка, его направляют в сторону, противоположную от ближайших мест нахождения персонала и мест возможного нахождения людей. В этом случае излучение, прошедшее сквозь объект контроля, должно быть перекрыто защитным экраном такой толщины, которая обеспечивает снижение излучения до допустимых значений на рабочих местах и в смежных помещениях. Также при проведении таких работ следует устанавливать размеры и маркировать знаками радиационной опасности или предупреждающими надписями зону ограничения доступа, в пределах которой мощность амбиентного эквивалента дозы излучения при проведении радионуклидной дефектоскопии может превышать 1,0 мкЗв/ч. При проведении радионуклидной дефектоскопии нахождение посторонних лиц в зоне ограничения доступа должно быть исключено.

Важно отметить, что радионуклидные дефектоскопы представляют радиационную опасность не только при проведении работ, но также при транспортировке и хранении. В соответствии с СП 2.6.1.3241-14 мощность амбиентного эквивалента дозы на расстоянии 1 м при переносе таких дефектоскопов с защищенным источником может быть до 20 мкЗв/ч. Поэтому могут создаваться условия, когда экранированный источник находится на близком расстоянии к телу работника, и поле облучения будет являться резко неравномерным, причём в такой ситуации велика вероятность недооценки эффективной дозы по результатам индивидуальной дозиметрии, когда индивидуальный ТЛ-дозиметр размещается на груди работника. В данном случае целесообразно изменить методический подход в проведении ИДК и предложить использование 2 индивидуальных дозиметров, 1 из которых располагается на участке тела работника вблизи переносимого дефектоскопа, а второй – на уровне груди. Однако для применения этого подхода необходимо провести серию натурных измерений.

При сборе информации в организациях, проводящих дефектоскопию в нестационарных условиях, определили следующий условный режим работы: в Российской Федерации бригады состоят чаще из 2 дефектоскопистов (редко встречаются бригады численностью 5–6 человек). За 1 рабочую смену бригада проверяет около 20 сварных стыков, каждый стык – от 2 до 5 снимков в разных проекциях (в среднем – около 80 включений дефектоскопа в день). Время экспозиции – от 10 до 50 с в зависимости от толщины труб.

При анализе по данным литературных источников не получается выделить значимых различий в организации рабочего процесса и в условиях труда дефектоскопистов в Российской Федерации и зарубежных странах.

Частота радиационных инцидентов среди дефектоскопистов

По данным на 1998 г., на долю промышленной радиографии во всем мире приходится примерно 50% всех зарегистрированных радиационных инцидентов [18]. К причинам, приводящим к возникновению радиационных инцидентов, относят: несоблюдение эксплуатационных протоколов (особенно при несоблюдении персоналом правил радиационной безопасности); недостаточная подготовка персонала, в том числе по вопросам обеспечения радиационной безопасности и радиационного контроля; ненадлежащее техническое обслуживание, неисправность оборудования или дефекты, приводящие к неисправности оборудования; ошибки персонала, часто возникающие из-за загруженности, неадекватного графика работы или неблагоприятных условий труда; недостаточный текущий контроль.

В последние годы количество радиационных инцидентов и число пострадавших людей в промышленной сфере деятельности резко сократилось, уступив первенство медицинской сфере [19]. Так, в период 1980–1989 гг. всего было зарегистрировано 173 (1114 пострадавших лиц) инцидента, из них 91 приходился на промышленную сферу, а 51 – на медицинскую. А в период 2010–2013 гг. из 66 радиационных инцидентов на промышленную сферу приходилось 7, а на медицинскую – 57, при этом количество пострадавших лиц составило 12 и 64 соответственно при общем количестве зарегистрированных пострадавших 85.

В научной литературе и отчётах МАГАТЭ были подробно описаны инциденты с операторами дефектоскопов, произошедшие с 1960-х гг. [20–26]. Трагические случаи происходили в Индии, Японии, Бельгии, США и в других странах. Последствия инцидентов часто сопровождались нанесением существенного вреда здоровью персонала от временного бесплодия и анемии до ампутации конечностей или заканчивались летально [27–31]. Также необходимо отметить, что были и публикации, которые указывали на существенную недооценку доз, значения которых были получены методом термолюминесцентной дозиметрии. Так, например, в Южной Корее был случай азооспермии, когда по данным измерения индивидуального дозиметра 39-летнего дефектоскописта был зафиксирован уровень облучения, равный 17,81 мГр в течение 80 месяцев, в то время как результаты анализа его транслокационной гибридизации *in situ* (FISH) показали уровень облучения до 1,926 Гр кумулятивного излучения, которого было достаточно, чтобы вызвать азоосперию [32]. Данный случай подтверждает необходимость оценить правильность проведения ИДК с обоснованием и разработкой новых методических подходов к организации и проведению ИДК методом термолюминесцентной дозиметрии, учитывающих различные сценарии облучения персонала.

Все представленные случаи говорят об особой опасности работы дефектоскопистов и необходимости строгого соблюдения требований радиационной безопасности.

Анализ доз облучения при нормальной эксплуатации

Источники излучений, используемые в дефектоскопии, отличаются высокой интенсивностью излучения, поэтому в процессе нормальной контролируемой эксплуатации могут вносить существенный вклад в формирование дозы персонала. В зарубежных источниках можно найти данные по средним дозам облучения дефектоскопистов. Так, на Европейской платформе профессионального радиационного облучения (ESOREX Platform) [33] представлены данные по дозам облучения, в том числе персонала, занятого в промышленной сфере деятельности «Industry», при этом в отдельную группу выделен персонал, занимающийся ядерным синтезом, т.е. мы делаем вывод, что в категории «Industry» подавляющее большинство представителей группы – дефектоскописты. Прямое сравнение данных по дозам, представленным на ESOEX Platform, с данными официальных источников в Российской Федерации и с собственными данными произвести нельзя по причине существенных различий в обработке первичной измерительной информации. Ранее был предложен алгоритм сравнения среднегодовых эффективных доз, полученных в Российской Федерации и в ряде зарубежных стран на примере медицинского персонала [34]. В данной статье были показаны различия в обработке первичной измерительной информации, приводящие к существенным отличиям в представленных значениях доз облучения в Российской Федерации и зарубежных странах. Данные отличия представлены в таблице 1.

В таблице 1 понятие «Зарубежные страны» включает в себя подавляющее большинство стран в соответствии

с заполненными анкетами для отчёта НКДАР ООН [35]. Наибольший интерес представляют критерии, которые по-разному применяются в России и за рубежом. Так, за счёт невычитания природной фоновой составляющей индивидуальной дозы и неприменения минимального уровня регистрации весь персонал группы А в России, в соответствии с зарубежным подходом, является «персоналом, подвергшимся измеримому воздействию», поэтому при сравнении значений доз более корректно использовать значения среднегодовых эффективных доз облучения именно «персонала, подвергшегося измеримому воздействию» других стран, которые представлены в 3-м столбце таблицы 2.

Как видно из представленных в таблице 2 данных, в зарубежных странах видна тенденция к снижению среднегодовых эффективных доз, в Российской Федерации средние значения держатся на одном уровне.

Отчёт НКДАР ООН [3], где указаны значения среднегодовых эффективных доз персонала, также подтверждает общемировую тенденцию к снижению доз. Если принять условие, что среднегодовая эффективная доза в промышленной радиологии, рассчитанная для периода времени с 2000 до 2014 г., представляет собой средние мировые значения (не все страны предоставили данные в итоговый отчёт), то предполагается, что среднегодовая эффективная доза снизилась с 2,6 мЗв (1975–1979 гг.) до 1,1 мЗв (2010–2014 гг.).

В Российской Федерации в этот период средние годовые значения доз не имеют чёткой тенденции и не превышают 2 мЗв в год (10% от среднегодового предела дозы). Особый интерес представляют данные по максимально зарегистрированным дозам. Практически все значения

Таблица 1

Различия в обработке первичной измерительной информации по дозам облучения персонала в Российской Федерации и зарубежных странах

[Table 1]

Differences in the processing of primary measurement information on personnel exposure doses in the Russian Federation and foreign countries]

Критерий [Criterion]	Российская Федерация [Russian Federation]	Зарубежные страны [Foreign countries]
Предпочтительный способ дозиметрии – термoluminesцентная дозиметрия [The preferred method of dosimetry is thermoluminescent dosimetry]	+	+
Отнесение дефектоскопистов к группе персонала с обязательным индивидуальным дозиметрическим контролем [Assigning nondestructive testing operators to a group of personnel with mandatory individual dosimetric control]	+	+
Вычитание природной фоновой компоненты из показаний фоновых дозиметров [Subtraction of the natural background component from the readings of background dosimeters]	–	+
Применение фильтра в виде минимального уровня регистрации [3,11]* [Applying a filter in the form of a minimum registration level [3,11]*]	–	+
Разделение на персонал, подвергшийся измеримому воздействию, и весь контролируемый персонал [The division into measurably exposed workers and all monitored workers]	–	+

* Минимальный уровень регистрации (МУР) – это уровень, выше которого результат считается достаточно значимым для регистрации, а значения ниже игнорируются и записываются как ноль.

[*The minimum registration level (MRL) is the level above which a result is considered significant enough to be recorded, and values below are ignored and recorded as zero]

Средние годовые эффективные дозы облучения персонала по данным Европейской платформы профессионального радиационного облучения (ESOREX Platform) [33] и [4-10]

Таблица 2

[Table 2]

Average annual effective exposure doses for personnel according to the European Platform for Occupational Radiation Exposure (ESOREX Platform) [33] and [4-10]

Год [Year]	Персонал, подвергшийся измеримому воздействию [Measurably exposed workers]	Средняя доза / персонал, подвергшийся измеримому воздействию (мЗв). ESOREX Platform* [Average dose / measurably exposed work- ers (mSv). ESOREX Platform*]	Средняя годовая эффективная доза (мЗв). Российская Федерация [Average annual effective dose (mSv). Russian Federation]
2015	28 628	1,15	1,87
2016	28 306	1,14	1,86
2017	16 408	0,88	1,90
2018	19 522	0,82	1,89
2019	18 236	0,79	1,70
2020	17 517	0,70	1,76
2021	12 740	0,82	1,71

* Представлены усреднённые значения годовых доз для 22 стран: Австрия, Бельгия, Болгария, Чехия, Эстония, Финляндия, Франция, Германия, Греция, Венгрия, Исландия, Ирландия, Литва, Люксембург, Норвегия, Польша, Румыния, Словения, Испания, Швеция, Швейцария, Нидерланды.

[* Average values of annual doses are presented for the 22 countries: Austria, Belgium, Bulgaria, Czech Republic, Estonia, Finland, France, Germany, Greece, Hungary, Iceland, Ireland, Lithuania, Luxembourg, Norway, Poland, Romania, Slovenia, Spain, Sweden, Switzerland, Netherlands.]

превышают среднегодовой предел 20 мЗв, а в 2021 г. зарегистрировано значение дозы, равное 51 мЗв, превышающее абсолютный предел дозы 50 мЗв.

Необходимо обратить внимание, что в большинстве отчётных форм, включая данные ESOREX Platform и отчётов НКДАР ООН [3, 35], нет чёткого подразделения дефектоскопистов по используемым типам источников излучения. Однако если просмотреть публикации по дозам облучения в отдельных странах, можно найти существенные отличия в значениях доз дефектоскопистов при использовании рентгеновских и радионуклидных дефектоскопов. Так, в Греции средняя годовая эффективная доза на 1 обследуемого работника постепенно увеличивается с 1996 г. до 2000 г., достигая значения 4,05 мЗв, а затем резко снижается. Это увеличение в основном связано с увеличением годовой дозы контролируемых дефектоскопистов, использующих как рентгеновские, так и радионуклидные дефектоскопы. Для дефектоскопистов, использующих только рентгеновские дефектоскопы, средняя годовая эффективная доза достигает максимального значения 1,61 мЗв в 1998 г., а в 2003 г. снижается до 0,47 мЗв. С другой стороны, для дефектоскопистов, использующих оба типа источников, средняя доза увеличивается, достигая 4,11 мЗв в 2000 г., а затем постепенно снижается до 1,24 мЗв. Различия в значениях средних доз дефектоскопистов легко объясняются разными условиями труда: радионуклидная дефектоскопия обычно выполняется на месте, поэтому вся система, включая источник, транспортируется к месту проведения дефектоскопии, и оператор может подвергаться облучению в процессе переноски источника к месту облучения и наоборот. Это, несомненно, увеличивает риск непреднамеренного облучения рабочих [36].

Также необходимо понимать, что представленные данные по дозам облучения дефектоскопистов не учитывают условия труда (нет деления на дефектоскопию в стационарных условиях и в нестационарных условиях), а это грубо усредняет значения доз в пользу занижения значений для дефектоскопистов, работающих в нестационарных условиях. В отчётных формах Российской Федерации также нет подразделения дефектоскопистов на группы в зависимости от условий выполнения дефектоскопии: в стационарных или в нестационарных условиях.

Заключение

Таким образом, не существует единой системы контроля и учёта доз дефектоскопистов в Российской Федерации и в зарубежных странах. Деление на специальности и сферы деятельности также реализовано различно. При изучении научных отчётов НКДАР ООН [3, 35] мы не встретили отдельного представления доз персонала, осуществляющего дефектоскопию в стационарных и нестационарных условиях, хотя в самом тексте отчётов данное подразделение есть, как есть и предостережение, что дефектоскопия в нестационарных условиях является существенно более высокодозной в сравнении с дефектоскопией, выполняемой в стационарных условиях. В России также при анализе среднегодовых эффективных доз нет такого подразделения, что приводит к усреднению доз в сторону уменьшения значений для персонала, выполняющего дефектоскопию в нестационарных условиях. Таким образом, сравнение среднегодовых эффективных доз дефектоскопистов внутри стран и между странами будет очень условным и не вполне корректным.

Проведение радиационного контроля требует дальнейшего изучения и проработки на практике. Так, для

персонала, проводящего дефектоскопию в стационарных условиях, достаточно использования одного индивидуального дозиметра, расположенного на поверхности тела в районе груди, чтобы по его показаниям с помощью соответствующего коэффициента перехода оценить значение эффективной дозы. Дозиметрия импульсных излучений требует разработки методик и создания новых средств измерения, способных измерять мощности доз импульсного излучения от современных дефектоскопов. При использовании переносных радионуклидных дефектоскопов создаются ситуации непреднамеренного облучения персонала при транспортировке дефектоскопов. При этом велика вероятность недооценки эффективной дозы по результатам ИДК, когда индивидуальный ТЛ-дозиметр размещается на груди работника. В данном случае целесообразно изменить методический подход в проведении ИДК и предложить использование 2 индивидуальных дозиметров, 1 из которых располагается на участке тела работника вблизи переносимого дефектоскопа, а второй на уровне груди. Однако для применения этого подхода необходимо провести серию натурных измерений.

Изучение сценариев и условий облучения дефектоскопистов при различных видах дефектоскопии представляет интерес, с точки зрения должного обеспечения радиационной безопасности, а также выработки обоснованных методических подходов в организации радиационного контроля данной сферы деятельности с дальнейшей апробацией их на практике.

Сведения о личном вкладе авторов в работу над статьей

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

Шлеенкова Е.Н. провела литературный поиск и выполнила сравнительный анализ нормативных документов, отредактировала промежуточный вариант рукописи.

Богатырёва В.Ю. провела литературный поиск и выполнила группировку литературных источников.

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. Шлеенкова Е.Н., Голиков В.Ю., Кайдановский Г.Н. и др. Результаты контроля доз облучения хрусталиков глаз у медицинского персонала г. Санкт-Петербурга // Радиационная гигиена. 2019. Т. 12, № 4. С. 29-36. <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2019-12-4-29-36>.
2. Шлеенкова Е.Н., Бажин С.Ю., Кайдановский Г.Н. и др. О необходимости проведения регулярного контроля доз облучения хрусталиков глаз у персонала, занятого на работах с использованием радиофармацевтических препаратов // Радиационная гигиена. 2021. Т. 14, № 3. С. 101-111. <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2021-14-3-101-111>.
3. UNSCEAR. Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation. Volume IV. UNSCEAR 2020/2021 Report to the General Assembly and Scientific Annex A. UNSCEAR 2020/2021 Report. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. United Nations, New York, 2022.
4. Барковский А.Н., Барышков Н.К., Братилова А.А. и др. Дозы облучения населения Российской Федерации в 2015 году: информационный сборник. СПб., 2016. 72 с.
5. 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.
6. 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.
7. 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.
8. 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.
9. 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.
10. 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.
11. International Atomic Energy Agency-Tecdoc 1344. Categorization of radioactive sources, 2003.
12. Certification of industrial radiography operators in Norway. Tor Wöhni and Gunnar Saxebøl. Proceedings of the ETRAP2005 Conference. Brussels, 23-25 November 2005.
13. Мартынюк Ю.Н., Нурлыбаев К., Ревков А.А. Дозиметрия импульсного излучения // АНРИ. 2018. №1 (92). С. 2-11.
14. UNSCEAR. Sources and Effects of Ionizing Radiation. Volume I: Sources: Report to the General Assembly, Scientific Annexes A and B. UNSCEAR 2008 Report. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. United Nations sales publication E.10.XI.3. United Nations, New York, 2010.
15. Palacios E. Radiography Accidents – Case Histories, IAEA ITC on Safety and Regulations of Radiation Sources, Argentine Atomic Energy Commission, 1990.
16. Официальный сайт Pinnacle X-Ray Solutions, Inc. URL: <https://pixl-us.com/understanding-resolution-and-x-ray/> (Дата обращения: 22.06.2023).
17. Официальный сайт Международного агентства по атомной энергии URL: <https://www.iaea.org/sites/default/files/22/06/industrial-radiography.pdf> (Дата обращения: 22.06.2023).
18. Oresgun M., Ortiz P., Webb G. Lessons learned from international compilations of accidents involving large radiation sources. Strahlenschutzpraxis. 1998. Vol. 4, No 94. P. 6-9.
19. Coeytaux K., Bey E., Christensen D. et al. Reported Radiation Overexposure Accidents Worldwide, 1980-2013: A Systematic Review // PLoS ONE. 2015. Vol. 10, No 3. P. e0118709. doi:10.1371/journal.pone.0118709.
20. IAEA-International Atomic Energy Agency. Lessons learned from accidents in industrial radiography, Safety Report Series No. 7 (Vienna, IAEA, 1998).
21. IAEA-International Atomic Energy Agency. The Radiological Accident in Gilan (Vienna: IAEA, 2002).
22. IAEA-International Atomic Energy Agency. The Radiological Accident in Tammiku (Vienna: IAEA, 1998).
23. IAEA-International Atomic Energy Agency. The Radiological Accident in Samut Prakarn (Vienna: IAEA, 2002).
24. IAEA-International Atomic Energy Agency. The Radiological Accident in Goiania (Vienna: IAEA, 1988).
25. IAEA-International Atomic Energy Agency. The Radiological Accident in San Salvador (Vienna: IAEA, 1990).

26. IAEA-International Atomic Energy Agency. The Radiological Accident in Yanango (Vienna: IAEA, 2000).
27. Annanalai M., Iyer P.S., Panicketer T.M.R. Radiation injury from acute exposure to an Iridium-192 source: case history // Health Physics. 1978. Vol. 35. P. 387–389.
28. Nakagawa K., Kozuka T., Akahane M. et al. Radiological findings of accidental radiation injury of the fingers: a case report // Health Physics. 2001. Vol. 80. P. 67–70.
29. Jalil A., RabMolla M.A. An overexposure in industrial radiography using an 192Ir radionuclide // Health Physics. 1989. Vol. 57. P. 117–119.
30. Jalil A., RabMolla M.A. Accidental overexposure to 192Ir source in industrial radiography: a follow-up study // Health Physics. 1992. Vol. 62. P. 74–76.
31. Jacobson A., Wilson B.M., Banks T.E., Scott R.M. 192Ir overexposure in industrial radiography // Health Physics. 1977. Vol. 32. P. 291–293.
32. Jaechan Park, Sanggil Lee, Chulyong Park, Huisu Eom. A case of azoospermia in a non-destructive testing worker exposed to radiation // Annals of Occupational and Environmental Medicine. 2017. P. 29:33.
33. Официальный сайт Европейской платформы профессионального радиационного облучения (ESOREX Platform). URL: https://esorex-platform.org/charts/g7?field_country_target_id=8427&field_occupation_tid=543 (Дата обращения 01.06.2023).
34. Бажин С.Ю., Шлеенкова Е.Н., Кайдановский Г.Н., Ильин В.А. О возможности сравнения среднегодовых эффективных доз облучения медицинского персонала России и некоторых зарубежных стран // Радиационная гигиена. 2020. Т. 13, № 2. С. 89–98. <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2020-13-2-89-98>.
35. Specific comments for time periods before 2003 are available in the electronic attachment "UNSCEAR_2008_Annex-B_Attach-2_Workers": URL: <https://www.unscear.org/unscear/uploads/documents/publications/2008/Workers.xls> (Дата обращения 23.06.2023).
36. Economides S., Tritakis P., Papadomarkaki E. et al. Occupational exposure in Greek industrial radiography laboratories (1996–2003) // Radiation Protection Dosimetry. 2006. Vol. 118, No. 3, P. 260–264.

Поступила: 07.07.2023 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. Условия труда и значения среднегодовых эффективных доз дефектоскопистов в Российской Федерации и за рубежом // Радиационная гигиена. 2023. Т. 16, № 3. С. 118–128. DOI: 10.21514/1998-426X-2023-16-3-118-128

Working conditions and values of average annual effective doses for nondestructive testing operators in the Russian Federation and abroad

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 Well-Being, Saint-Petersburg, Russia

The review presents description of the work and the main provisions on the working conditions for non-destructive testing operators from the standpoint of the system for ensuring radiation safety and radiation control. The values of the average annual effective doses of flaw detectorists in the Russian Federation and

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

abroad are indicated. Official sources of information on doses in the Russian Federation and in the world, obtained from the results of individual dosimetric monitoring, were selected for presentation. The data of our own measurements were not included in this review. The difference in the name of the specialty of the studied group of personnel in Russian and English and the difference in the processing of primary measuring information in domestic and foreign sources of information are taken into account. The relevance of the need to resolve the issues of radiation safety and radiation monitoring of personnel involved in nondestructive testing is demonstrated, due to the fact that in the Russian Federation there are regulatory and methodological documents affecting the organization and conduct of individual dosimetric monitoring of personnel in the medical field and the nuclear industry, but they do not include personnel conducting nondestructive testing. Therefore, individual dosimetric control for nondestructive testing operators is carried out by accredited laboratories in accordance with the provisions of Methodical guidelines 2.6.1.3015-12. "Organization and management of individual dosimetry of medical staff", i.e. without taking into account the exposure scenarios for personnel involved in nondestructive testing and the specifics of its work. The doses estimated in this way are included in the regional and federal databanks of personnel exposure doses. When entering dose values into data banks, there is no division of personnel into the personnel performing nondestructive testing in stationary and non-stationary conditions, therefore, the doses of personnel performing various types of nondestructive testing are averaged.

Key words: individual dosimetric control, radiograph, non-destructive testing, average annual effective dose.

Personal contribution of the authors

Bazhin S.Yu. carried out the general scientific management of the study, developed the design of the study, determined the goals and objectives, searched and analyzed literature data, edited and submitted the final version of the manuscript for publication in the journal.

Shleenkova E.N. conducted a literature search and performed a comparative analysis of normative documents, edited an intermediate version of the manuscript.

Bogatyreva V.Yu. conducted a literary search and grouped literary sources.

Conflict of interests

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

- Shleenkova EN, Golikov VYu, Kaidanovsky GN, Bazhin SYu, Ilyin VA. Results of eye lens doses control of medical personnel in St. Petersburg. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2019;12(4):29-36. (In Russian) <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2019-12-4-29-36>.
- Shleenkova EN, Bazhin SYu, Kaidanovsky GN, Chipiga LA, Ilyin VA. About the requirements of regular monitoring of doses for the eye lens of the staff working with radiopharmaceuticals. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2021;14(3):101-111. (In Russian) <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2021-14-3-101-111>.
- UNSCEAR. Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation. Volume IV. UNSCEAR 2020/2021 Report to the General Assembly and Scientific Annex A. UNSCEAR 2020/2021 Report. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. United Nations, New York, 2022.
- 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 (In Russian).
- 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 (In Russian).
- 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: information collection. Saint-Petersburg: NIIRG; 2018: 72 (In Russian).
- 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 (In Russian).
- 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 (In Russian).
- 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 (In Russian).
- 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 (In Russian).
- International Atomic Energy Agency-Tecdok 1344. Categorization of radioactive sources, 2003.
- Certification of industrial radiography operators in Norway. Tor Wöhni and Gunnar Saxebøl. Proceedings of the ETRAP2005 Conference. Brussels, 23-25 November 2005.
- Martynyuk YuN, Nurlybaev K, Revkov AA. Dosimetry of pulsed radiation. *ANRI = ANRI*. 2018;1(92): 2-11. (In Russian).
- UNSCEAR. Sources and Effects of Ionizing Radiation. Volume I: Sources: Report to the General Assembly, Scientific Annexes A and B. UNSCEAR 2008 Report. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. United Nations sales publication E.10.XI.3. United Nations, New York, 2010.
- Palacios E. Radiography Accidents – Case Histories, IAEA ITC on Safety and Regulations of Radiation Sources, Argentine Atomic Energy Commission, 1990.
- Official site of Pinnacle X-Ray Solutions, Inc. Available from: <https://pixl-us.com/understanding-resolution-and-x-ray/> (Accessed 22.06.2023).
- Official site of IAEA. Available from: <https://www.iaea.org/sites/default/files/22/06/industrial-radiography.pdf> (Accessed 22.06.2023).
- Oresegun M., Ortiz P., Webb G. Lessons learned from international compilations of accidents involving large radiation sources. *Strahlenschutzpraxis*. 1998;4(94): 6-9.
- Coeytaux K, Bey E, Christensen D, Glassman ES, Murdock B, Doucet C. Reported Radiation Overexposure Accidents Worldwide, 1980-2013: A systematic review.

- PLoS ONE. 2015;10(3): e0118709. doi:10.1371/journal.pone.0118709.
20. IAEA-International Atomic Energy Agency. Lessons learned from accidents in industrial radiography, Safety Report Series No. 7 (Vienna, IAEA, 1998).
 21. IAEA-International Atomic Energy Agency. The Radiological Accident in Gilan (Vienna: IAEA, 2002).
 22. IAEA-International Atomic Energy Agency. The Radiological Accident in Tammiku (Vienna: IAEA, 1998).
 23. IAEA-International Atomic Energy Agency. The Radiological Accident in Samut Prakarn (Vienna: IAEA, 2002).
 24. IAEA-International Atomic Energy Agency. The Radiological Accident in Goiania (Vienna: IAEA, 1988).
 25. IAEA-International Atomic Energy Agency. The Radiological Accident in San Salvador (Vienna: IAEA, 1990).
 26. IAEA-International Atomic Energy Agency. The Radiological Accident in Yanango (Vienna: IAEA, 2000).
 27. Annanalai M, Iyer PS, Panicketer TMR. Radiation injury from acute exposure to an Iridium-192 source: case history. *Health Physics*. 1978;35: 387–389.
 28. Nakagawa K, Kozuka T, Akahane M, Suzuki G, Akash M, Hosoi Y, et al. Radiological findings of accidental radiation injury of the fingers: a case report. *Health Physics*. 2001;80: 67–70.
 29. Jalil A, RabMolla MA. An overexposure in industrial radiography using an 192Ir radionuclide. *Health Physics*. 1989;57: 117–119.
 30. Jalil A, RabMolla MA. Accidental overexposure to 192Ir source in industrial radiography: a follow-up study. *Health Physics*. 1992;62: 74–76.
 31. Jacobson A, Wilson BM, Banks TE, Scott RM. 192Ir overexposure in industrial radiography. *Health Physics*. 1977;32: 291–293.
 32. Park J, Lee S, Park C, Eom H. A case of azoospermia in a non-destructive testing worker exposed to radiation. *Ann Occup Environ Med*. 2017 Aug 10;29:33. doi: 10.1186/s40557-017-0190-z. PMID: 28815050; PMCID: PMC5556348.
 33. Official site of European Platform for Occupational Radiation Exposure. Available from: https://esorex-platform.org/charts/g7?field_country_target_id=8427&field_occupation_tid=543 (Accessed 01.06.2023).
 34. Bazhin SYu, Shleenkova EN, Kaidanovsky GN, Ilyin VA. Possibilities of comparing the average annual effective doses of medical personnel in Russia and some foreign countries. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2020;13(2): 89-98. (In Russian) <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2020-13-2-89-98>.
 35. Specific comments for time periods before 2003 are available in the electronic attachment "UNSCEAR_2008_Annex-B_Attach-2_Workers". Available on: <https://www.unscear.org/unscear/uploads/documents/publications/2008/Workers.xls> (Accessed 23.06.2023).
 36. Economides S, Tritakis P, Papadomarkaki E, Carinou E, Hourdakis C, Kamenopoulou V et al. Occupational exposure in Greek industrial radiography laboratories (1996–2003). *Radiation Protection Dosimetry*. 2006;118(3): 260–264.

Received: July 07, 2023

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 Well-Being, 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 Well-Being, 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 Well-Being, Saint-Petersburg, Russia

For citation: Bazhin S.Yu., Shleenkova E.N., Bogatyreva V.Yu. Working conditions and values of average annual effective doses for nondestructive testing operators in the Russian Federation and abroad. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2023. Vol. 16, No. 3. P. 118–128. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2023-16-3-118-128