



УДК 539.1.089.68:355
ГРНТИ 78.21.32

ПРОБЛЕМНЫЕ ВОПРОСЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭТАЛОНОВ ДОЗИМЕТРИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН В СФЕРЕ ОБОРОНЫ И БЕЗОПАСНОСТИ

*Ю.В. НИКИТЕНКО, кандидат технических наук
ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)
О.Н. КУЗНЕЦОВА, кандидат технических наук
ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)
Е.В. ФЕДОРОВА
ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)
С.В. МИТРОФАНОВА
ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)*

В статье проведен анализ проблемных вопросов метрологического обслуживания средств измерений, вызванных необходимостью использования для поверки радиоактивных эталонов. Рассмотрены основные трудности при проведении их проверки. Угроза применения ядерного оружия, а также наличие большого количества ядерных энергетических объектов создают вероятность возможного радиоактивного загрязнения местности. Указано, что для своевременной защиты личного состава и недопущения снижения боеспособности подразделений необходимо своевременное обнаружение радиоактивных веществ с помощью специальных средств измерений.

Ключевые слова: средства измерений, радиационная безопасность, эталоны, период полураспада, радиоактивные источники.

PROBLEMATIC ISSUES OF DOSIMETRIC QUANTITIES STANDARDS OPERATION IN THE FIELD OF DEFENSE AND SECURITY

*YU.V. NIKITENKO, Candidate of Technical sciences
MESC AF «N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy» (Voronezh)
O.N. KUZNETSOVA, Candidate of Technical sciences
MESC AF «N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy» (Voronezh)
E.V. FEDOROVA
MESC AF «N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy» (Voronezh)
S.V. MITROFANOVA
MESC AF «N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy» (Voronezh)*

The article analyzes the problematic issues of metrological maintenance of measuring instruments caused by the need to use radioactive standards for verification. The main difficulties in conducting their verification are considered. The threat of using nuclear weapons, as well as the presence of a large number of nuclear power facilities, creates the possibility of possible radioactive contamination of the area. It is specified that for timely protection of personnel and prevention of reduction of combat capability of divisions timely detection of radioactive substances by means of special measuring instruments is necessary.

Keywords: measuring instruments, radiological safety, standards, half-life, radioactive sources.

Введение. Несмотря на подписание различных договоров и конвенций, ни одно государство, обладающее ядерным оружием, не стремится от него избавиться. Одним из поражающих факторов ядерного взрыва является радиоактивное загрязнение местности. Оно



также может возникать при аварии на радиационно-опасном объекте, например, на атомной электростанции. Все виды ионизирующих излучений радиоактивных продуктов ядерных взрывов и аварий (разрушений) радиационно-опасных объектов представляют радиационную опасность для войск. Сложившаяся радиационная обстановка заставит внести коррективы в действия личного состава на аэродроме. Избежать радиационных потерь или по крайней мере снизить их можно, используя средства индивидуальной и коллективной защиты. Однако важно их своевременное применение. Таким образом, радиационные потери будут напрямую зависеть от своевременности обнаружения радиоактивного загрязнения местности.

Актуальность. Все средства измерения (СИ), используемые в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений, должны отвечать определенным требованиям и нормам в области точности получаемых с их помощью данных. С целью обеспечения точности получаемой информации, своевременного выявления различных неисправностей и отклонений в измерениях все средства измерений подвергаются регулярной поверке в соответствии со статьей 13 Федерального Закона № 102 РФ «Об обеспечении единства измерений».

В соответствии с рекомендацией Государственной системы обеспечения единства измерений МИ-2222-92 одним из видов измерений являются измерения характеристик ионизирующих излучений и ядерных констант. Для установления правильности показаний приборов необходимо проводить поверку всей радиометрической и дозиметрической аппаратуры.

В настоящее время в Вооруженных Силах используются несколько видов средств измерений характеристик ионизирующих излучений и ядерных констант. Все они нуждаются в ежегодной поверке, что сопряжено с некоторыми затруднениями. В статье рассмотрены основные проблемы, которые усложняют метрологическое обслуживание дозиметрической аппаратуры и требуют решения.

Поверку проводят при помощи рабочих эталонов, для которых разработаны соответствующие поверочные схемы, устанавливающие соподчинение эталонов, рабочих эталонов и рабочих мер, и приборов, а также значения погрешностей при передаче единиц измерения от эталонов рабочим приборам. В качестве эталонов источников используются α -, β -, γ - и нейтронные источники, изготовленные и испытанные согласно соответствующим техническим условиям на них, предназначенные для аттестации в качестве эталонов мер и аттестованные органами государственной и ведомственной метрологической службы [1].

Эталонные α -, β -, γ - и нейтронные источники используют для поверки рабочих источников, а также для градуировки и поверки соответствующей радиометрической, дозиметрической и спектрометрической аппаратуры.

Эталоны – источники α - и β -излучений, представляют собой металлические подложки, на которые тонким слоем нанесено радиоактивное вещество, закрытое для исключения возможности загрязнения защитным покрытием. В качестве защитного покрытия используют тонкие окислы пленки для источников α -излучения, а для источников β -излучения – алюминиевую фольгу толщиной $0,05 \pm 0,006$ мм. В источниках α -излучения толщина радиоактивного слоя вместе с защитным покрытием не превышает $0,2$ мг/см². У источников β -излучения толщина фильтровальной бумаги, на которую нанесен радиоактивный нуклид, составляет $7,5 \pm 0,3$ мг/см². Источники имеют площадь поверхности 1, 4, 10, 40, 100 и 160 см. Все источники выполнены в форме круга, только источники с площадью активной поверхности 160 см имеют прямоугольную форму. По периметру источников есть неактивные поля шириной 15 мм, так что источники можно брать пинцетом, не касаясь активной поверхности. Для предохранения активной поверхности от механических повреждений в подложках предусмотрено углубление 0,5 мм, внутри которого находится радиоактивное вещество.

В качестве радиоактивных нуклидов для источников α -излучения используют плутоний-239, уран-234 и уран естественный. Энергия α -частиц изменяется от 4,13 до 5,15 МэВ.



Для источников β -излучения используется стронций-90, находящийся в равновесии с иттрием-90. Максимальная энергия спектра β -частиц стронция-90 составляет 0,61 МэВ, иттрия-90 – 2,1 МэВ. Период полураспада стронция-90 составляет 28,5 года.

Для поверки дозиметрической и радиометрической аппаратуры используют закрытые радиоизотопные источники γ -излучения из нуклидов кобальта-60 и цезия-137 с энергией излучения 1,17 и 1,33 МэВ для кобальта-60 и 0,66 МэВ для цезия-137.

Всего для средств измерений характеристик ионизирующего излучения и ядерных констант в настоящее время имеется 14 государственных стандартов, содержащих поверочные схемы в области ионизирующих излучений.

Рабочие эталоны средств измерений делят по разрядам, количество разрядов определяется общим количеством рабочих эталонов данного типа, необходимых для проведения поверочных работ в стране. В области ионизирующих излучений низшим разрядом является 3-й разряд для α - и β -излучений и 2-й разряд для γ - и нейтронного излучений [1].

Метрологическое обеспечение средств измерений характеристик ионизирующих излучений и ядерных констант имеет ряд особенностей, связанных с использованием при поверке радиоактивных источников.

Первая особенность – это необходимость допуска личного состава к работе с источниками ионизирующего излучения.

К работе с источниками излучения (персонал группы А) допускаются лица, не моложе 18 лет, не имеющие медицинских противопоказаний. Перед допуском к работе с источниками излучения персонал должен пройти обучение, инструктаж и проверку знаний правил безопасности ведения работ и действующих в организации инструкций. Проверка знаний правил безопасности работы в организации проводится комиссией до начала работ и периодически, не реже одного раза в год, а руководящего состава – не реже 1 раза в 3 года. Лица, не удовлетворяющие квалификационным требованиям, к работе не допускаются. На определенные виды деятельности допускается персонал группы А при наличии у них разрешений, выдаваемых органами государственного регулирования безопасности. Перечень специалистов указанного персонала, а также предъявляемые к ним квалификационные требования определяются Правительством Российской Федерации [2]. Личный состав, работающий с источниками ионизирующих излучений, должен получить дозу, не превышающую установленного порогового значения.

В таблице представлены основные дозовые пределы, которые являются суммарными величинами дозы внешнего облучения, полученной за календарный год, и ожидаемая эффективная доза внутреннего облучения, обусловленная поступлением в организм радионуклидов за этот же год. В целом эффективная доза для персонала не должна превышать за период трудовой деятельности (50 лет) – 1000 мЗв, а для населения за период жизни (70 лет) – 70 мЗв.

Таблица 1 – Допустимые дозы облучения

Нормируемые величины	Пределы доз	
	Персонал (группа А)	Население
Эффективная доза	20 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 50 мЗв в год	1 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 5,0 мЗв в год
Эквивалентная доза за год		
в хрусталике глаза	150 мЗв	15 мЗв
в коже	500 мЗв	50 мЗв
в кистях и стопах	500 мЗв	50 мЗв

Для женщин в возрасте до 45 лет, работающих с источниками облучения, нормами предусмотрены дополнительные ограничения. В частности, эквивалентная доза на поверхности



нижней части области живота не должна превышать 1 мЗв в месяц, а поступление радионуклидов в организм за год не должно быть более 1/20 предела годового поступления для персонала.

Вторая особенность – специальные требования, предъявляемые к помещениям для хранения и работы с источниками.

Работа с источниками излучения разрешается только в помещениях, указанных в санитарно-эпидемиологическом заключении. Помещения, в которых проводятся работы с источниками ионизирующих излучений, должны соответствовать требованиям основных санитарных правил работы с радиоактивными веществами и другими источниками ионизирующих излучений и норм радиационной безопасности НРБ-99/2009:

на дверях каждого помещения указываются его назначение, класс проводимых работ и знак радиационной опасности;

толщина стен, пола и потолка помещений рабочей части установок и аппаратов должна обеспечивать при любых направлениях пучка ослабление основного и рассеянного излучения в смежных помещениях и санитарно-защитной зоне до предельно допустимых уровней;

помещения, где размещаются стационарные установки с радионуклидными источниками излучения, должны быть оборудованы системами блокировки, сигнализации о положении излучателя и уровнях излучения в них;

в помещении, предназначенном для размещения установки или аппарата, должны быть предусмотрены возможности аварийного выключения механизма перемещения источника или аварийного выключения высокого напряжения аппарата и открывания входной двери изнутри, а также устройство перемещения источника в положение хранения в случае аварии.

При работе с радиоактивными веществами в открытом виде или при посещении объектов (помещений), где производятся такие работы, необходимо использовать защитные экраны и средства индивидуальной защиты. В зависимости от вида ионизирующего излучения для изготовления защитных экранов применяют различные материалы, а их толщина определяется энергией излучения. Для защиты от рентгеновского и гамма-излучения применяют элементы с большими атомными массами, например, свинец и уран, позволяющими добиться нужного эффекта по кратности ослабления при наименьшей толщине экрана. Однако с учетом высокой стоимости свинца и урана можно использовать экраны из более легких по атомной массе материалов – просвинцованного стекла, железа, бетона, железобетона, воды. Для защиты от бета-излучения целесообразно применять экраны, изготовленные из материалов с малым атомным номером, такие как органическое стекло, пластмассу, алюминий. Защита от нейтронного излучения основывается на закономерностях воздействия нейтронов с веществом. Наиболее эффективно происходит поглощение тепловых, медленных нейтронов, поэтому для поглощения быстрых нейтронов они должны быть предварительно замедлены. Максимальный замедляющий эффект наблюдается у элементов с малыми атомными номерами (материалы, содержащие в своем составе большое количество атомов водорода – вода, парафин, бетон и различные др.).

В помещениях и на территории воинской части, где используются источники ионизирующих излучений, должен осуществляться контроль за радиационной обстановкой, который в зависимости от характера проводимых работ, включает:

измерение мощности дозы рентгеновского и гамма-, нейтронного излучения, плотности потока частиц ионизирующего излучения на рабочих местах, в смежных помещениях, на территории воинской части;

измерение уровней загрязнения радиоактивными веществами рабочих поверхностей, оборудования, транспортных средств, средств индивидуальной защиты, кожных покровов и обмундирования (одежды) личного состава;

определение объемной активности газов, аэрозолей и радионуклидов в воздухе рабочих помещений воинской части;

измерение или оценку активности выбросов и сбросов радиоактивных веществ;



определение уровней радиоактивного загрязнения объектов окружающей среды на территории воинской части.

В метрологической воинской части должны быть в наличии дистанционный инструмент или специальное устройство для извлечения источников из контейнера и установки их в поверочную дозиметрическую установку [2].

Таким образом, для безопасной работы при проведении метрологического обеспечения средств измерений характеристик ионизирующего излучения и ядерных констант необходимо придерживаться установленных норм, за нарушение которых предусмотрено уголовное наказание. Их выполнение требует соблюдения множества нюансов и соответствующих финансовых затрат.

Третья особенность связана со снижением активности источников. Основной характеристикой радиоактивного источника является его активность, характеризующаяся периодом полураспада – время, в течение которого распадается половина начального числа радиоактивных атомов. Период полураспада для различных элементов может составлять от нескольких минут до сотен лет. В качестве эталонов при проверке средств измерений ионизирующих излучений используются α -, β -, γ -источники.

Номенклатура выпускаемых в настоящее время эталонов источников ионизирующих излучений позволяет проводить проверку аппаратуры в широком диапазоне активности, плотности потока частиц и мощности экспозиционной дозы (уран, плутоний, стронций, цезий и др.) [3].

В соответствии с законом радиоактивного распада число атомов, распадающихся за малый промежуток времени, пропорционально числу атомов, имеющихся в наличии на данный момент времени, т. е.

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N. \quad (1)$$

В интегральной форме закон выражается уравнением

$$N = N_0 \exp(-\lambda t), \quad (2)$$

где N и N_0 – число атомов радионуклида в начальный момент времени ($t=0$) и спустя время t ; λ – постоянная или константа радиоактивного распада данного нуклида, с^{-1} .

Постоянная распада является мерой неустойчивости ядер данного радионуклида. Она не зависит ни от химических, ни от физических условий. Количественно постоянная распада равна вероятности распада на одно ядро в единицу времени. Для каждого данного радионуклида постоянная распада имеет одно и то же строго определенное значение, не зависящее от общего числа его ядер. Например, из общего числа ядер цезия-137 распадается каждую секунду только $6,66 \cdot 10^{-10}$ часть. Если на каждый момент времени имеется 10^{12} ядер этого нуклида, то за последующую секунду распадается 666 ядер. Следовательно, $6,66 \cdot 10^{-10} \text{ с}^{-1}$ является постоянной распада цезия-137.

Другой характеристикой скорости радиоактивного распада служит период полураспада, т. е. время, в течение которого распадается половина первоначального количества ядер данного радионуклида. Приняв $N=0,5N_0$, можно из выражения (2) несложными преобразованиями получить соотношение:

$$T_{0,5} = \frac{0,693}{\lambda}. \quad (3)$$



С учетом (3) закон радиоактивного распада в интегральной форме можно представить в виде

$$N = N_0 \exp(-0,693 \frac{t}{T_{0,5}}). \quad (4)$$

Количество радиоактивных веществ, содержащихся в радиоактивных образцах и источниках ионизирующих излучений, принято выражать в единицах активности радионуклида.

Активность радионуклида в источнике является физической величиной, характеризующей число распадов в единицу времени. Количественно она определяется отношением числа dN спонтанных ядерных переходов из определенного ядерно-энергетического состояния радионуклида, происходящих в данном его количестве за интервал времени dt , к этому интервалу

$$A = \frac{dN}{dT}. \quad (5)$$

Если в начальный момент времени число равно N_0 , то по истечении периода полураспада это число будет равно $N_0/2$. Спустя еще один такой же интервал времени это число станет равным

$$\frac{1}{2} \frac{N_0}{2} = \frac{N_0}{4} = \frac{N}{2^2}. \quad (6)$$

Спустя n периодов полураспада радиоактивных атомов останется

$$N = N_0 \frac{1}{2^n}. \quad (7)$$

Очевидно, что с течением времени активность источника будет снижаться и функцию эталона он выполнять не сможет. Сложность эксплуатации радиоактивных источников, используемых в качестве эталонов, заключается в том, что снижение активности эталона происходит постепенно и на протяжении всего жизненного цикла. Расчет времени пригодности каждого конкретного источника представляет собой довольно сложную задачу. В то же время, от своевременности замены эталона зависит точность поверки, а значит исправность средств измерений и, как следствие, боеспособность подразделения.

Четвертая особенность поверки средств измерений характеристик ионизирующих излучений и ядерных констант связана с невозможностью демонтажа части средств измерений с авиационной или автомобильной техники. Все средства измерений отправляются на поверку в метрологические воинские части в соответствии с установленными межповерочными интервалами. Однако, некоторые из них, в силу особенностей их эксплуатации (на технике), невозможно демонтировать и перевозить [4]. В данном случае метрологическое обслуживание возможно только силами и средствами выездной метрологической группы, что безусловно затрудняет процесс поверки.

Выводы. Рассмотренные в статье проблемные вопросы накладывают определенные требования и ограничения на условия поверки средств измерений характеристик ионизирующих излучений и поддержание их в рабочем состоянии.

Выявлены основные трудности, возникающие при проверке средств измерений ионизирующих излучений, которые требуют внимания специалистов при проведении работ, что позволит избежать различных ситуаций.

Однако четкое соблюдение всех требований является залогом высокой боеспособности воинских подразделений и частей.



СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Брегадзе Ю.И., Степанов Э.К., Ярына В.П. Прикладная метрология ионизирующих излучений. М.: Энергоатомиздат, 1990. 264 с.
2. СанПиН 2.6.1.2523–09 «Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009)». М.: Центр санитарно-эпидемиологического нормирования, гигиенической сертификации и экспертизы Минздрава России.
3. Белоногов О.Д., Красюк Е.М., Любомудров А.А. Учебное пособие для подготовки офицеров и служащих органов надзора за измерительными приборами. Книга 9. Дозиметрия ионизирующих излучений. М.: Воениздат, 1997. 284 с.
4. Фрейман Э.С., Щупановский В.Д., Калошин В.М. Основы безопасности перевозки радиоактивных веществ. М.: Энергоиздат, 1996.

REFERENCES

1. Bregadze Yu.I., Stepanov `E.K., Yaryna V.P. Prikladnaya metrologiya ioniziruyuschih izluchenij. M.: `Energoatomizdat, 1990. 264 p.
2. SanPiN 2.6.1.2523-09 «Normy radiacionnoj bezopasnosti (NRB-99/2009)». M.: Centr sanitarno-`epidemiologicheskogo normirovaniya, gigienicheskoy sertifikacii i `ekspertizy Minzdrava Rossii.
3. Belonogov O.D., Krazyuk E.M., Lyubomudrov A.A. Uchebnoe posobie dlya podgotovki oficerov i sluzhaschih organov nadzora za izmeritel'nymi priborami. Kniga 9. Dozimetriya ioniziruyuschih izluchenij. M.: Voenizdat, 1997. 284 p.
4. Frejman `E.S., Schupanovskij V.D., Kaloshin V.M. Osnovy bezopasnosti perevozki radioaktivnyh veschestv. M.: `Energoizdat, 1996.

© Никитенко Ю.В., Кузнецова О.Н., Федорова Е.В., Митрофанова С.В., 2020

Никитенко Юлия Вячеславовна, кандидат технических наук, старший преподаватель 13 кафедры, Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж), Россия, 394064, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54А, yuliyunikitenk@yandex.ru.

Кузнецова Оксана Николаевна, кандидат технических наук, преподаватель 214 кафедры, Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж), Россия, 394064, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54А, belyavceva_oksana@mail.ru.

Федорова Екатерина Владимировна, техник научно-исследовательского центра (проблем применения, обеспечения и управления авиацией Военно-воздушных сил), Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж), Россия, 394064, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54А, ekaterinan-1988@mail.ru.

Митрофанова Светлана Викторовна, младший научный сотрудник научно-исследовательского центра (проблем применения, обеспечения и управления авиацией Военно-воздушных сил), Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж), Россия, 394064, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54А, mitrofanovas85@mail.ru.