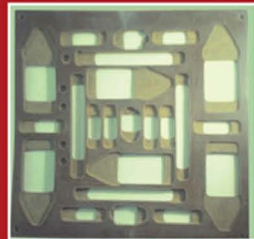
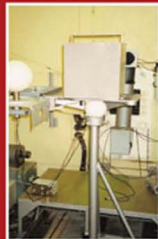


Ю. ТАРАСЕНКО

ВТОРИЧНЫЕ ЭТАЛОНЫ ЕДИНИЦ ИЗМЕРЕНИЙ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

*Монография посвящается 25-й годовщине
создания вторичных эталонов ионизирующих
излучений, катастрофы на четвертом
энергоблоке ЧАЭС 26 апреля 1986 г.,
ликвидаторам и их потомкам*



ТЕХНОСФЕРА

Ю. Тарасенко

ВТОРИЧНЫЕ ЭТАЛОНЫ
ЕДИНИЦ ИЗМЕРЕНИЙ
ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

ТЕХНОСФЕРА
Москва
2011

УДК 623.454.862
ББК 31.42
Т 19

Рецензент:

Лотонов М.А.

академик Метрологической академии РФ,
доктор технических наук, профессор

Тарасенко Ю.Н.

Т 19 Вторичные эталоны единиц измерений ионизирующих излучений. — Москва: Техносфера, 2011. — 448 с. + 10 с. цв. вкл. ISBN 978-5-94836-277-9

Монография посвящена разработке и исследованию системы метрологического обеспечения средств измерений ионизирующих излучений (СИ ИИ) с использованием вторичных эталонов (ВЭ) и эталонов-переносчиков (ЭП) первого поколения в 1975—1991 гг. Приводятся результаты сличений показаний ЭП, отечественных и зарубежных СИ ИИ на ВЭ и в зонах радиоактивного заражения после взрыва четвертого блока ЧАЭС в 1986 г.

Предназначена для специалистов, занимающихся метрологическим обеспечением измерений ИИ в сфере обороны и безопасности, разработчиков средств измерений ИИ в целях обеспечения единства измерений существующими средствами измерений и учета выработанных рекомендаций при создании новых средств измерений, а также для ликвидаторов катастрофы на четвертом энергоблоке ЧАЭС и их потомков.

Монография будет полезна студентам высших учебных заведений при изучении курса метрологии, слушателям факультетов повышения квалификации и курсов по переподготовке кадров.

УДК 623.454.862
ББК 31.42

© 2011, Тарасенко Ю.Н.

© 2011, ЗАО «РИЦ «Техносфера», оригинал-макет, оформление

ISBN 978-5-94836-277-9

*Монография посвящается
25-й годовщине создания
вторичных эталонов ионизирующих излучений,
катастрофы на четвертом энергоблоке ЧАЭС
26 апреля 1986 г.,
ликвидаторам и их потомкам*

Содержание

Предисловие	8
Глава 1. ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ЗАДАЧИ, РЕШАЕМЫЕ СРЕДСТВАМИ ИЗМЕРЕНИЙ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ	11
1.1. Контроль доз облучения персонала в условиях применения ядерного оружия, ликвидации последствий аварий на ядерных объектах и закрытых источниках ионизирующих излучений	11
1.2. Контроль доз облучения персонала при работе с источниками ионизирующих излучений	27
1.3. Контроль радиоактивного заражения окружающей среды, объектов и техники	31
1.4. Дозиметрическое и метрологическое обеспечение испытаний аппаратуры и техники	33
1.5. Состояние и перспективы развития рабочих средств измерений ионизирующих излучений	36
<i>Выводы</i>	38
Глава 2. СОСТОЯНИЕ, ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СИ ИИ И ТРЕБОВАНИЯ К ВЭ	43
<i>Выводы</i>	50
Глава 3. РАЗРАБОТКА, СОЗДАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ СТАЦИОНАРНЫХ ВТОРИЧНЫХ ЭТАЛОННЫХ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ	52
3.1. Экспозиционная доза фотонного излучения	52
3.1.1. Создание стационарного вторичного эталона единиц ЭД на основе установки КИС-НРД-МБм	53
3.1.2. Поправки на рассеяние фотонов в коллимированном пучке гамма-излучения	58
3.1.3. Результаты исследований метрологических характеристик ВЭ-19ЭДФ	64

3.2. Поглощенная доза фотонного излучения. Результаты исследования метрологических характеристик ВЭ-19ПДФ	69
3.3. Поглощенная доза бета-излучения	79
3.3.1. Медико-биологические требования к дозиметрам внешнего бета-излучения и их метрологическому обеспечению	79
3.3.2. ВЭ мощности поглощенной дозы бета-излучения ВЭ-28	92
3.3.3. Исследование дозовых распределений поглощенной дозы бета-излучения	105
3.4. Нейтронное излучение	118
3.4.1. Плотность потока нейтронов	121
3.4.1.1. Определение ППБН на ГЭТ 10—81	124
3.4.1.2. Определение ППБН на ВЭ-19ППН	125
3.4.1.2.1. <i>Определение плотности потока тепловых нейтронов</i>	127
3.4.2. Эквивалентная и поглощенная доза нейтронов	135
3.5. Активность радионуклидов	149
<i>Выводы</i>	157

Глава 4. ЭТАЛОНЫ-ПЕРЕНОСЧИКИ РАЗМЕРОВ ЕДИНИЦ ИЗМЕРЕНИЙ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

Введение	174
4.1. Эталон-переносчики размеров единиц измерений фотонного излучения	176
4.1.1. Передача размеров единиц СИ фотонного излучения	176
4.1.2. Аттестация ядерно-физических установок по фотонному излучению	225
4.2. Эталон-переносчики размеров единиц нейтронного излучения	254
4.2.1. Передача размеров единиц СИ нейтронного излучения	254
4.2.2. Аттестация ядерно-физических установок по нейтронному излучению	284
4.3. Эталон-переносчики размеров единиц заряженных частиц	291
4.3.1. Передача размеров единиц дозиметрам и измерителям мощности поглощенной дозы бета-излучения	291
4.3.2. Аттестация ядерно-физических установок по электронному и протонному излучению	315
4.4. Эталон-переносчики размеров единиц активности радионуклидов	323
4.5. Поверочные схемы для средств измерений ионизирующих излучений	332

Глава 5. СЛИЧЕНИЯ ПОКАЗАНИЙ ЭП, ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ЗАРУБЕЖНЫХ СИ ИИ НА ВЭ И В ЗОНАХ РАДИОАКТИВНОГО ЗАРАЖЕНИЯ ПОСЛЕ ВЗРЫВА ЧЕТВЕРТОГО БЛОКА ЧАЭС В 1986 г.	334
5.1. Краткая характеристика катастрофы на четвертом блоке ЧАЭС	334
5.2. Подготовка к сличениям показаний эталонов-переносчиков в Чернобыле	336
5.2.1. Результаты метрологических исследований приборов ИД-1 и ИД-11, проведенные 32 ГНИИИ МО РФ	338
5.2.2. Результаты метрологических исследований приборов ИД-1, ИД-11, проведенные 32 ГНИИИ МО РФ	344
5.2.3. Краткая характеристика фантомов и методики обработки результатов измерений	354
5.2.3.1. Краткая характеристика фантомов	354
5.2.3.2. Методики калибровки и обработки результатов измерений СИ ИИ на ВЭ и в районе ЧАЭС	355
5.2.3.2.1. Методики калибровки ТЛД	355
5.2.3.2.2. Обработка результатов измерений дозиметров с ТЛД	356
5.2.4. Результаты аттестации и поверки СИ ИИ на эталонном комплексе фотонного излучения и поглощенной дозы бета-излучения	358
5.3. Исследования и сличения показаний СИ ИИ в районе развала четвертого блока ЧАЭС и в пределах 30-километровой зоны	359
5.3.1. Подготовка приборов и оборудования для размещения на территории ЧАЭС и рабочем месте в г. Чернобыле. Радиационная разведка территории ЧАЭС с целью выбора площадки с требуемыми уровнями излучений	359
5.3.2. Проверка технического состояния измерительных пультов дозиметров ИД-11	368
5.3.3. Исследования и сличение показаний СИ ИИ в районе развала четвертого блока ЧАЭС и в пределах 30-километровой зоны	370
5.3.3.1. Исследования и сличение показаний СИ ИИ в районе развала четвертого блока ЧАЭС	370
5.3.3.2. Исследования и сличение показаний СИ ИИ в пределах 30-километровой зоны	396
5.3.3.2.1. Измерения в точке № 1 (в прямке на площади у районного Дома культуры Чернобыля)	398
5.3.3.2.2. Измерения в точке № 2	399
5.3.3.2.3. Измерения на сцене районного Дома культуры г. Чернобыль на экспериментальной проверочной установке	401

5.3.3.2.4. Сличения показаний дозиметров ДПГ-03 и рентгенметра ДП-5В в точке № 4	403
5.3.3.2.5. Результаты сличений показаний измерителей мощности дозы на дезактивированной асфальтированной хоккейной площадке стадиона в Чернобыле	404
5.3.3.2.6. Результаты сличения показаний измерителей мощности экспозиционной дозы в зоне ЧАЭС и прилегающих районах	407
5.4. Исследования зависимости показаний измерителей мощности экспозиционной дозы за защитным слоем поглотителя	412
5.4.1. Определение энергии гамма- и бета-излучений	412
5.4.2. Результаты исследований радионуклидного состава продуктов выброса аварийного четвертого блока ЧАЭС	424
5.5. Предложения по совершенствованию дозиметрических систем и обеспечению единства измерений в смешанных полях ИИ	433
Выводы	436
Заключение	439
Литература	440

Предисловие

Монография посвящена разработке и исследованию системы метрологического обеспечения средств измерений ионизирующих излучений с использованием стационарных вторичных эталонов (ВЭ) и эталонов-переносчиков (ЭП) первого поколения в 1975—1991 гг.

Создание и возможность применения ядерного оружия, использование ядерно-физических установок на объектах и техники (О и Т), необходимость обеспечения их работы в условиях естественного и искусственного космического ионизирующего излучения (ИИ) привели к необходимости создания большого парка средств измерений ионизирующих излучений (СИ ИИ) и системы метрологического обеспечения (СМО) [1]. Основными задачами СИ ИИ в 1975—1991 гг. являлся контроль доз облучения человека с целью определения его дееспособности и лечения, оценка характеристик полей излучений и радиационной стойкости объектов О и Т. Эти задачи решались носимыми постоянно персоналом дозиметрами, переносными и стационарными приборами. Основным монополистом — разработчиком в СССР таких приборов и установок был СНИИП. Об этом достаточно подробно было сказано в юбилейном выпуске к 50-летию СНИИПа «Как создавалось отечественное ядерное приборостроение» [4]. Однако они не спешили с разработками ВЭ и ЭП по разработанным требованиям.

Полный цикл работ по созданию и вводу в эксплуатацию ВЭ Госстандартом составлял, как правило, 6 и более лет. Учитывая, что НИИ Госстандарта выразил согласие приступить к разработке ВЭ ИИ не ранее 1986—1989 гг., создание их силами 32 ГНИИИ МО РФ на базе модернизированных рабочих и образцовых СИ ИИ за 3—4 года ускорило создание системы метрологического обеспечения, удовлетворяющей требованиям в особый период на 8—10 лет. Это обеспечило единство и повышение достоверности контроля более 30 параметров и характеристик ИИ,

необходимых для решения важных технических, медико-биологических, научно-испытательных и социальных задач. В связи с этим важной проблемой являлась разработка научных и технических основ высокоомобильной, оперативной и живучей системы воспроизведения, хранения и передачи размеров единиц физических величин ионизирующих излучений. Специфические требования по мобильности, оперативности и живучести системы метрологического обеспечения в условиях особого периода привели к необходимости использования ВЭ и ЭП [1].

Поэтому одной из актуальных задач являлось создание первого поколения ВЭ и ЭП и системы метрологического обеспечения средств измерений ионизирующих излучений в сфере обороны и безопасности на их основе. ВЭ и поверочные установки высшей точности должны были обеспечивать сличение важнейших физических величин в реальных условиях эксплуатации в особый период. Высокоточные устройства должны работать в сложных климатических условиях при значительных механических воздействиях. Малое время, отводимое на измерения в условиях особого периода, вызывало необходимость сопряжения измерительных средств с техникой, автоматизации самих измерений и обработки полученных данных. В области измерений параметров ИИ перед метрологами стояла задача создания комплекса ВЭ единиц экспозиционной и поглощенной доз фотонного излучения, поглощенной и эквивалентной доз нейтронного излучения, поглощенной дозы бета-излучения, плотности потока нейтронов, активности радионуклидов, исходных образцовых средств измерений полей фотонного, нейтронного, электронного и протонного излучений, ЭП, системы образцовых средств и методов передачи размеров единиц от ВЭ образцовым и рабочим приборам [1].

На основе созданного комплекса ВЭ ИИ и ЭП проведено исследование единства и правильности измерений СИ всех видов ионизирующих излучений, в том числе при ликвидации последствий аварии Чернобыльской АЭС. Приводятся результаты сличений показаний ЭП, отечественных и зарубежных СИ ИИ на ВЭ и в зонах радиоактивного заражения после взрыва четвертого блока ЧАЭС в 1986 г.

Результаты исследований показали на отсутствие единства и правильности измерений в реальных условиях смешанного ИИ. Они были использованы при разработке новых тактико-технических требований к средствам дозиметрического контроля ра-

диационной обстановки и в методических рекомендациях по их метрологическому обеспечению. Показано, что дальнейшее использование экспозиционной и амбиентной (амбиентного эквивалента) доз как измеряемых величин этими средствами в условиях радиоактивного заражения открытыми радионуклидами недопустимо.

В монографии обобщены материалы по разработке и исследованию системы метрологического обеспечения средств измерений ионизирующих излучений с использованием ВЭ, ЭП и результаты сличений показаний ЭП, отечественных и зарубежных СИ ИИ на ВЭ и в зонах радиоактивного заражения после взрыва четвертого блока ЧАЭС в 1986 г.

Они являются результатом многолетней самостоятельной работы лично автора, а также выполненной при непосредственном участии автора в соавторстве с сотрудниками руководимых им с 1975 по 1982 г. лаборатории, а с 1982 по 1992 г. отдела.

Монография рекомендуется метрологам, занимающихся метрологическим обеспечением измерениями ИИ в сфере обороны и безопасности, а также разработчикам средств измерений ИИ в целях обеспечения единства измерений существующими средствами измерений и учета выработанных рекомендаций при создании новых средств измерений. Может быть использована слушателями высших учебных заведений при изучении курса по метрологии, слушателями факультетов повышения квалификации и курсов по переподготовке кадров, а также ликвидаторами катастрофы на четвертом энергоблоке ЧАЭС и их потомками.

*М.А. Лотонов,
доктор технических наук, профессор,
академик Метрологической академии РФ*

ГЛАВА 1

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ЗАДАЧИ, РЕШАЕМЫЕ СРЕДСТВАМИ ИЗМЕРЕНИЙ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

Требования к системе метрологического обеспечения и средствам ионизирующих излучений (СИ ИИ) определяются условиями применения и задачами, решаемыми персоналом сферы обороны, безопасности и промышленности при использовании техники в мирное время и особый период.

Перечень типовых задач, решаемых с помощью СИ ИИ, и некоторые частные задачи приведены в табл. 1.1.

СИ ИИ, используемые для решения этих задач, разрабатывались и разрабатываются в основном по заказам сферы обороны и безопасности.

При этом учитываются виды техники, на которых предполагается применять СИ и источники ИИ, возможные варианты действия персонала в условиях применения ядерного оружия, ликвидаций последствий аварий на ядерных объектах, а также требования обеспечения испытаний аппаратуры и специальной техники на стойкость к воздействию ИИ ядерного взрыва в натурных опытах, космического пространства и на ЯФУ, действующие в учреждениях сферы обороны, безопасности и промышленности санитарные правила работы с радиоактивными веществами и другими источниками ИИ.

1.1. Контроль доз облучения персонала в условиях применения ядерного оружия, ликвидации последствий аварий на ядерных объектах и закрытых источниках ионизирующих излучений

При работе персонала в условиях применения ядерного оружия, последствий аварий на ядерных объектах и закрытых источниках ионизирующих излучений проводят определение коллективных

Таблица 1.1. Перечень типовых и частных измерительных задач, решаемых с помощью СИ ИИ

Типовые задачи	Частные задачи
<p>1. Индивидуальный и групповой контроль облучения персонала</p>	<p>1.1. Определение коллективных и индивидуальных доз облучения персонала, действующего в зоне воздействия проникающих излучений и радиоактивного заражения местности (РЗМ).</p> <p>1.2. Определение индивидуальных доз внешнего и внутреннего облучения персонала в условиях нормального и аварийного состояния ядерно-энергетических установок (ЯЭУ), ядерно-физических установок (ЯФУ) и ядерных зарядных устройств (ЯЗУ).</p> <p>1.3. Определение доз внешнего облучения персонала, работающего на радиационных и рентгеновских установках, а также с эталонными источниками на поверочных установках</p>
<p>2. Контроль радиоактивного заражения (РЗ) окружающей среды, объектов и техники</p>	<p>2.1. Разведка радиоактивно зараженной (РЗ) местности (акватории) в районе ядерных взрывов (ЯВ) и по следу радиоактивного облака с целью отыскания путей обхода или выхода из зон с высокими уровнями РЗ, а также районов с наименьшими уровнями РЗ. Определение допустимого времени пребывания персонала на радиоактивно зараженной местности, в помещениях и отсеках кораблей с ЯЭУ, а также в помещениях объектов, зараженных радионуклидами.</p> <p>2.2. Контроль радиационной обстановки местности (акватории) и сигнализация о превышении допустимого уровня заражения. Выработка данных о радиационной обстановке на объектах и техники с ЯЭУ на борту и сигнализация с превышением установленных пороговых значений ИИ.</p> <p>2.3. Определение степени РЗ воздуха, техники, помещений, продуктов и питьевой воды. Определение уровней РЗ кожных покровов и одежды персонала</p>

3. Технологический радиационный контроль ЯЭУ, ЯФУ и ЯЗУ	<p>3.1. Контроль герметичности тепловыделяющих элементов (ТВЭЛ) ЯЭУ; обнаружение нарушений герметичности элементов 1—3 контуров ЯЭУ, приводящих к непосредственному выходу радионуклидов в помещениях необитаемой зоны, а также зоны строгого режима; контроль герметичности 2 контура в парогенераторах, а также в теплообменниках 1 и 3 контуров ЯЭУ.</p> <p>3.2. Контроль параметров ЯФУ и ЯЗУ.</p> <p>3.3. Контроль параметров радиоизотопных и рентгеновских медицинских установок</p>
4. Дозиметрическое обеспечение испытаний аппаратуры и техники	<p>4.1. Проведение первичных и периодических аттестаций полей излучений ЯФУ.</p> <p>4.2. Мониторирование параметров выходящего излучения.</p> <p>4.3. Дозиметрическое сопровождение в местах расположения облучаемых объектов</p>
5. Обнаружение и засечка ЯВ, а также искусственных источников ИИ (ЯЗУ и ЯЭУ) на космических объектах	<p>5.1. Определение радиометрических и спектрометрических (энергетический спектр гамма- и бета-излучений) характеристик продуктов ЯЗ (аэрозольный метод).</p> <p>5.2. Измерение потока ионизирующих частиц на фоне первичного космического излучения</p>
6. Метрологическое обеспечение СИ ИИ	<p>6.1. Техническое обслуживание и ремонт СИ ИИ.</p> <p>6.2. Проверка СИ ИИ в метрологических органах и в местах их использования.</p> <p>6.3. Аттестация эталонных СИ ИИ высшей точности с использованием эталонной аппаратуры</p>

и индивидуальных доз облучения персонала в зоне действия ядерного взрыва в основном для решения вопроса дееспособности подразделений и прогноза тяжести лучевых поражений.

Дееспособность персонала при лучевых поражениях оценивается по его возможности продолжать выполнение поставленных задач при предельном напряжении сил. Она определяется 4 состояниями:

1. Дееспособность сохранена (ДС), доза облучения 100—200 сГр, профессиональные обязанности выполняются в полном объеме.

2. Дееспособность ограничена (ДО), доза облучения 200—400 сГр, при выполнении профессиональных обязанностей в сфере умственной работы число ошибочных действий составляет 10—15 %, замедлено время реакции в сложной обстановке, возможности по выполнению тяжелой физической работы снижаются на (20—30 %).

3. Дееспособность существенно ограничена (ДСО), доза облучения 400—600 сГр, в сфере умственной деятельности возможно только выполнение основных закрепленных профессиональных навыков без анализа сложной обстановки, число ошибочных действий 20 % и более, возможно, как исключение, выполнение легкой физической работы.

4. Дееспособность утрачена (ДУ), доза облучения 600—2000 сГр, выполнение профессиональных обязанностей невозможно.

Снижение физической работоспособности наступает в более ранние сроки и при меньших дозах облучения, чем снижение умственной деятельности.

При решении этих задач использовали понятие биологической дозы, связанной с реакцией организма человека на воздействие ионизирующего излучения. К ним относят эквивалентную поражающую дозу $D_{\text{п}}$ и эквивалентную непоражающую дозу $D_{\text{ЭКВ}}$, связанные с «тканевой кермой в воздухе» $L_{\text{тк}}$. Под тканевой кермой в воздухе понимают величину, приближенно равную дозе, поглощенной в элементарном объеме биологической ткани, расположенной в воздухе.

В качестве единицы поражающей дозы использовали биологический рентген-эквивалент (БРэ), под которым понимают единицу ионизирующего излучения сложного состава с произвольным распределением дозы по телу, вызывающего по исходу острого лучевого поражения такой же биологический эффект, как и экспозиционная доза $D_{\text{ЭКЛ}} = 1 \text{ Р}$ при одностороннем гамма-облучении. Ее определяли в диапазоне от 50 БРэ и выше.