

Первый заместитель
генерального директора –
заместитель по научной работе
ФГУП «ВНИИФТРИ»

2024 г.



МП 10053-2024

р.п. Менделеево
2024 г.

1 Общие положения

1.1 Настоящая методика поверки применяется для поверки дозиметров универсальных UNIDOS Romeo (далее по тексту – дозиметры), используемых в качестве средств измерений повышенной точности в соответствии с Государственной поверочной схемой для средств измерений поглощенной дозы и мощности поглощенной дозы, эквивалента дозы и мощности эквивалента дозы фотонного и электронного излучений, поглощенной дозы и мощности поглощенной дозы протонного излучения, утвержденной приказом Росстандарта № 2359 от 26.09.2022.

1.2 В результате поверки должны быть подтверждены следующие метрологические требования, приведенные в таблице 1.

Таблица 1 – Метрологические характеристики дозиметров

Наименование характеристики	Значение
Диапазон измерений мощности поглощенной дозы (МПД) в воде фотонного, электронного и протонного излучений для ионизационных камер, Гр/мин:	
30013	от $6,0 \cdot 10^{-4}$ до $3,0 \cdot 10^2$
31010	от $3,6 \cdot 10^{-3}$ до $3,5 \cdot 10^3$
34001	от $1,0 \cdot 10^{-3}$ до $3,1 \cdot 10^2$
34045	от $1,0 \cdot 10^{-3}$ до $3,1 \cdot 10^2$
Диапазон измерений поглощенной дозы (ПД) в воде фотонного, электронного и протонного излучений для ионизационных камер, Гр:	
30013	от $1,0 \cdot 10^{-4}$ до $1,0 \cdot 10^6$
31010	от $6,0 \cdot 10^{-4}$ до $1,0 \cdot 10^6$
34001	от $2,0 \cdot 10^{-4}$ до $1,0 \cdot 10^6$
34045	от $2,0 \cdot 10^{-4}$ до $1,0 \cdot 10^6$
Диапазон измерений МПД в воде фотонного излучения для ионизационных камер, Гр/мин:	
31022	от $3,0 \cdot 10^{-2}$ до $2,7 \cdot 10^3$
31025	от $3,0 \cdot 10^{-2}$ до $2,7 \cdot 10^3$
31021	от $6,0 \cdot 10^{-3}$ до $4,0 \cdot 10^2$
31024	от $6,0 \cdot 10^{-3}$ до $4,0 \cdot 10^2$
Диапазон измерений ПД в воде фотонного излучения для ионизационных камер, Гр:	
31022	от $5,0 \cdot 10^{-3}$ до $1,0 \cdot 10^6$
31025	от $5,0 \cdot 10^{-3}$ до $1,0 \cdot 10^6$
31021	от $6,0 \cdot 10^{-3}$ до $1,0 \cdot 10^6$
31024	от $6,0 \cdot 10^{-3}$ до $1,0 \cdot 10^6$
Пределы допускаемой основной относительной погрешности измерений МПД и ПД в воде фотонного излучения, %	$\pm 2,0$
Пределы допускаемой относительной погрешности измерений МПД и ПД в воде электронного излучения ¹⁾ , %	$\pm 2,7$
Пределы допускаемой относительной погрешности при измерении МПД и ПД в воде протонного излучения ¹⁾ , %	$\pm 3,8$

Наименование характеристики	Значение
¹⁾ – с учетом применения k_Q ; k_Q - поправка на качество радиационного пучка из документа «Technical reports series No. 398 (Rev. 1) INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY VIENNA, 2024», таблица 16 - для фотонного излучения, таблица 20 - для электронного излучения, таблица 37a,b - для протонного излучения; калибровочный коэффициент для конкретного варианта ионизационной камеры (Гр/Кл) определен в поле излучения радионуклида ^{60}Co , на расстоянии источник излучения – ионизационная камера 100 см, в стандартном водном фантоме с геометрическими размерами 30 x 30 x 30 см, на глубине, соответствующей поверхностной плотности 5 г/см ² .	

1.3 Дозиметры подлежат первичной поверке при выпуске из производства и ремонта. В процессе эксплуатации дозиметры подвергаются периодической поверке.

1.4 При определении метрологических характеристик в рамках представленной методики поверки обеспечивается прослеживаемость к Государственному первичному эталону единиц поглощенной дозы и мощности поглощенной дозы фотонного, электронного, протонного излучений и в пучках ионов углерода, количества, флюенса, плотности потока и энергии частиц в пучках протонов и тяжелых заряженных частиц ГЭТ 38-2024 в соответствии с Государственной поверочной схемой для средств измерений поглощенной дозы и мощности поглощенной дозы, эквивалента дозы и мощности эквивалента дозы фотонного и электронного излучений, поглощенной дозы и мощности поглощенной дозы протонного излучения, утвержденной приказом Росстандарта № 2359 от 26.09.2022.

При определении метрологических характеристик поверяемых дозиметров используется метод сличения с помощью компаратора согласно соответствующей Государственной поверочной схеме.

Конструктивно дозиметры состоят из электрометра UNIDOS Romeo типа 10053 и ионизационных камер (ИК) типов 30013, 31010, 31021, 31024, 31022, 34001, 31025, 34045. Маркировка электрометра и ИК включает в себя двухзначный буквенный индекс, обозначающий тип соединения, и цифровой индекс, обозначающий тип электрометра и ИК. (ТМ – соединение PTW-M; TN - соединение BNT; TW – соединение TNC). Для коммутации электрометра и ИК, при необходимости, используются удлинительные кабели и кабели-адаптеры.

Возможность проведения первичной и периодической поверки дозиметров с отдельными ИК и периодической поверки для меньшего числа измеряемых величин предусмотрена.

2 Перечень операций поверки дозиметров

2.1 Для дозиметров должны быть выполнены операции, указанные в таблице 2.

Таблица 2 – Операции поверки

Наименование операции поверки	Обязательность выполнения операций поверки при		Номер раздела (пункта) методики поверки, в соответствии с которым выполняется операция поверки
	первичной поверке	периодической поверке	
1 Внешний осмотр	Да	Да	7
2 Подготовка к поверке и опробование средства измерений	Да	Да	8
3 Проверка программного обеспечения средства измерений	Да	Да	9

Наименование операции поверки	Обязательность выполнения операций поверки при		Номер раздела (пункта) методики поверки, в соответствии с которым выполняется операция поверки
	первичной поверке	периодической поверке	
4 Определение метрологических характеристик средства измерений и подтверждение соответствия средства измерений метрологическим требованиям	Да	Да	10
4.1 Определение диапазона и основной относительной погрешности измерений ПД в воде, МПД в воде фотонного излучения	Да	Да	10.1
4.2 Определение диапазона и основной относительной погрешности измерений ПД в воде, МПД в воде электронного излучения	Да	Да	10.2
4.3 Определение диапазона и основной относительной погрешности измерений ПД в воде, МПД в воде протонного излучения	Да	Да	10.3

3 Требования к условиям проведения поверки

3.1 Поверка должна проводиться при соблюдении следующих условий:

- температура окружающего воздуха, °Сот плюс 15 до плюс 25;
- относительная влажность воздуха, %от 20 до 80;
- атмосферное давление, кПа..... от 97,3 до 105,3;
- естественный радиационный фон, мкЗв·ч⁻¹, не более0,20.

4 Требования к специалистам, осуществляющим поверку

4.1 Поверку могут выполнять специалисты, имеющие необходимую квалификацию в области ядерной физики, методов регистрации ионизирующего излучения, метрологического обеспечения средств измерений ионизирующих излучений, и изучившие эксплуатационную документацию наверяемое оборудование и средства поверки.

4.2 Специалисты должны знать требования «Основных санитарных правил обеспечения радиационной безопасности» (СП 2.6.1.2612-10) и быть допущенными к работе с источниками ионизирующих излучений в качестве персонала (группа А).

5 Метрологические и технические требования к средствам поверки

5.1 При проведении поверки применяются основные и вспомогательные средства поверки, приведенные в таблице 3.

Таблица 3 – Метрологические и технические требования к средствам поверки

Операции поверки, требующие применение средств поверки	Метрологические и технические требования к средствам поверки, необходимые для проведения поверки	Перечень рекомендуемых средств поверки
п.3 Требования к условиям проведения поверки	Средства измерений температуры окружающего воздуха в диапазоне от 10 °С до 30 °С с абсолютной погрешностью $\pm 0,1$ °С; Средства измерений относительной влажности воздуха в диапазоне от 10 % до 90 % с погрешностью ± 3 %. Средства измерений атмосферного давления в диапазоне от 80 до 106 кПа с абсолютной погрешностью $\pm 0,1$ кПа. Средства измерений мощности амбиентного эквивалента дозы гамма-излучения в диапазоне измерений от $0,1 \text{ мЗв} \cdot \text{ч}^{-1}$ до $2 \text{ мЗв} \cdot \text{ч}^{-1}$ с относительной погрешностью ± 20 %. Средство измерений интервалов времени от 0 до 9 ч 59 мин, погрешности измерения в режиме секундомера в нормальных условиях эксплуатации от 20 °С до 30 °С $\pm (9,6 \cdot 10^{-6} \cdot T_x + 0,01)$, где T_x – значение измеренного интервала времени, с	Термометры лабораторные электронные LTA (рег. № 69551-17) Прибор комбинированный Testo-622 (рег. № 53505-13) Барометры рабочие сетевые БРС-1М (рег. № 16006-97) Дозиметр рентгеновского и гамма-излучения ДКС-АТ1123 (рег. № 19793-19) Секундомер электронный Интеграл С-01 (рег. № 44154-16)
п. 10 Определение метрологических характеристик средства измерений и подтверждение соответствия средства измерений метрологическим требованиям	Эталоны по Государственной поверочной схеме для средств измерений поглощенной дозы и мощности поглощенной дозы, эквивалента дозы и мощности эквивалента дозы фотонного и электронного излучений, поглощенной дозы и мощности поглощенной дозы протонного излучения, утвержденной приказом Росстандарта № 2359 от 26.09.2022	Государственный первичный эталон единиц поглощенной дозы и мощности поглощенной дозы фотонного, электронного, протонного излучений и в пучках ионов углерода, количества, флюенса, плотности потока и энергии частиц в пучках протонов и тяжелых заряженных частиц ГЭТ 38-2024

Операции поверки, требующие применение средств поверки	Метрологические и технические требования к средствам поверки, необходимые для проведения поверки	Перечень рекомендуемых средств поверки
		Государственный вторичный эталон единиц мощности поглощенной дозы в диапазоне от $1 \cdot 10^{-7}$ до $3 \cdot 10^6$ Гр/ч, поглощенной дозы в диапазоне от $2 \cdot 10^{-5}$ до 10^8 Гр, мощности эквивалента дозы в диапазоне от $1 \cdot 10^{-7}$ до $3 \cdot 10^6$ Зв/ч, эквивалента дозы в диапазоне от $1 \cdot 10^{-6}$ до 10^8 Зв фотонного излучения 2.1.ZZT.0410.2023

Примечания:

1. Допускается использовать при поверке другие утвержденные и аттестованные эталоны единиц величин, средства измерений утвержденного типа и поверенные, удовлетворяющие метрологическим требованиям к средствам поверки, а также другие вспомогательные средства.
2. Сведения о результатах поверки/аттестации всех эталонов и средств измерений должны быть представлены актуальной записью в Федеральном информационном фонде по обеспечению единства измерений.

6 Требования по обеспечению безопасности проведения поверки

6.1 При проведении поверки должны соблюдаться требования СП 2.6.1.2612-10 «Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010)», СанПиН 2.6.1.2523-09 «Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009)».

6.2 Поверители должны пройти инструктаж по технике безопасности на рабочем месте, руководствоваться требованиями безопасности, изложенными в «Правилах по охране труда при эксплуатации электроприборов», а также приведенными в эксплуатационной документации на средства поверки и поверяемые средства измерений.

7 Внешний осмотр

7.1 При внешнем осмотре должно быть установлено:

- наличие эксплуатационной документации;
- достаточность комплектации дозиметров для проведения поверки;
- отсутствие на оборудовании загрязнений и механических повреждений, влияющих на работу;
- наличие маркировки (тип и заводской номер);
- четкость надписей на органах управления и индикации и их соответствие функциональному назначению;
- отсутствие следов несанкционированного вскрытия поверяемого средства измерений.

Результаты внешнего осмотра считаются положительными, если: средство измерений поступило в поверку в комплекте с эксплуатационной документацией, комплектация достаточна для проведения поверки, отсутствуют дефекты, влияющие на работу оборудования, имеется необходимая маркировка, отсутствуют следы несанкционированного вскрытия.

7.2 При обнаружении несоответствий согласно п.7.1 поверка прекращается.

8 Подготовка к поверке и опробование

8.1 Подготовить средства поверки к работе в соответствии с эксплуатационной документацией на используемые средства поверки.

8.2 Подготовить дозиметр к работе и проверить работоспособность в соответствии с руководством по эксплуатации.

Результаты опробования считаются положительными, если в процессе проверки работоспособности отсутствуют сообщения о неисправности.

9 Проверка программного обеспечения

9.1 В соответствии с документом «Дозиметры универсальные UNIDOS Romeo. Руководство по эксплуатации»:

- проверить идентификационное наименование программного обеспечения (ПО);
- проверить номер версии (идентификационный номер) ПО;
- определить цифровой идентификатор ПО.

9.2 Результаты проверки считать положительными, если идентификационные данные ПО соответствуют указанным в таблице 4.

Таблица 4 – Идентификационные данные ПО дозиметров

Идентификационные данные (признаки)	Значение
Идентификационное наименование ПО	UNIDOS ROMEO
Номер версии (идентификационный номер) ПО	не ниже 1.2.4
Цифровой идентификатор ПО	-

10 Определение метрологических характеристик средства измерений и подтверждение соответствия средства измерений метрологическим требованиям

10.1 Определение диапазона и основной относительной погрешности измерений поглощенной дозы в воде, мощности поглощенной дозы в воде фотонного излучения.

10.1.1 Определение диапазонов измерений поглощенной дозы в воде, мощности поглощенной дозы в воде фотонного излучения провести методом сличения с помощью компаратора на эталонных установках из состава Государственного первичного эталона единиц поглощенной дозы и мощности поглощенной дозы фотонного, электронного, протонного излучений и в пучках ионов углерода, количества, флюенса, плотности потока и энергии частиц в пучках протонов и тяжелых заряженных частиц ГЭТ 38-2024, Государственного вторичного эталона единиц мощности поглощенной дозы в диапазоне от $1 \cdot 10^{-7}$ до $3 \cdot 10^6$ Гр/ч, поглощенной дозы в диапазоне от $2 \cdot 10^{-5}$ до 10^8 Гр, мощности эквивалента дозы в диапазоне от $1 \cdot 10^{-7}$ до $3 \cdot 10^6$ Зв/ч, эквивалента дозы в диапазоне от $1 \cdot 10^{-6}$ до 10^8 Зв фотонного излучения 2.1.ZZT.0410.2023, а также методом подбора по ГОСТ 25935-83 в полях рентгеновского излучения из состава этих эталонов.

10.1.2 Измерения поглощенной дозы в воде фотонного излучения, мощности поглощенной дозы в воде фотонного излучения в зависимости от состава дозиметра провести в поле излучения радионуклида Co-60, в стандартном водном фантоме с геометрическими размерами 30 x 30 x 30 см, на глубине, соответствующей поверхностной плотности 5 г/см^2 , в диапазонах единиц величин, указанных в таблице 5.

Таблица 5

Наименование, единицы измерения	Значение
Диапазон измерений МПД в воде фотонного излучения для ионизационных камер, Гр/мин:	
30013	от $6,0 \cdot 10^{-4}$ до $3,0 \cdot 10^2$
31010	от $3,6 \cdot 10^{-3}$ до $3,5 \cdot 10^3$
34001	от $1,0 \cdot 10^{-3}$ до $3,1 \cdot 10^2$
34045	от $1,0 \cdot 10^{-3}$ до $3,1 \cdot 10^2$
31022	от $3,0 \cdot 10^{-2}$ до $2,7 \cdot 10^3$
31025	от $3,0 \cdot 10^{-2}$ до $2,7 \cdot 10^3$
31021	от $6,0 \cdot 10^{-3}$ до $4,0 \cdot 10^2$
31024	от $6,0 \cdot 10^{-3}$ до $4,0 \cdot 10^2$
Диапазон измерений ПД в воде фотонного излучения для ионизационных камер, Гр:	
30013	от $1,0 \cdot 10^{-4}$ до $1,0 \cdot 10^6$
31010	от $6,0 \cdot 10^{-4}$ до $1,0 \cdot 10^6$
34001	от $2,0 \cdot 10^{-4}$ до $1,0 \cdot 10^6$
34045	от $2,0 \cdot 10^{-4}$ до $1,0 \cdot 10^6$
31022	от $5,0 \cdot 10^{-3}$ до $1,0 \cdot 10^6$
31025	от $5,0 \cdot 10^{-3}$ до $1,0 \cdot 10^6$
31021	от $6,0 \cdot 10^{-3}$ до $1,0 \cdot 10^6$
31024	от $6,0 \cdot 10^{-3}$ до $1,0 \cdot 10^6$

10.1.3 Для подготовки дозиметра к проведению измерений ИК разместить на линейке дозиметрической установки в поле излучения радионуклида ^{60}Co , в стандартном водном фантоме с геометрическими размерами 30 x 30 x 30 см, на глубине, соответствующей поверхностной плотности 5 г/см^2 , таким образом, чтобы продольная ось пучка излучения проходила через центр ИК.

10.1.4 Ввести в программное обеспечение условия проведения измерений в месте расположения ИК.

10.1.5 В соответствии с п. 13.1 документа «Дозиметры универсальные UNIDOS Romeo. Руководство по эксплуатации» провести компенсацию темнового тока в отсутствие источника излучения.

10.1.6 Провести измерения в поле излучения радионуклида ^{60}Co в диапазонах поглощенной дозы в воде и мощности поглощенной дозы в воде, указанных в таблице 5, не менее чем в трех равномерно расположенных точках диапазона. В каждой точке провести не менее 5 измерений. Относительное СКО оценки результатов измерений должно быть $\leq |0,4| \%$. Если значение относительного СКО оценки результатов измерений превышает $|0,4| \%$, количество измерений следует увеличить.

10.1.7 Метод подобия применить в точках со значениями единиц величин, выходящими за пределы диапазонов воспроизведения поля излучения радионуклида ^{60}Co ГЭТ 38-2024 и Государственного вторичного эталона единиц мощности поглощенной дозы в диапазоне от $1 \cdot 10^{-7}$ до $3 \cdot 10^6$ Гр/ч, поглощенной дозы в диапазоне от $2 \cdot 10^{-5}$ до 10^8 Гр, мощности эквивалента дозы в диапазоне от $1 \cdot 10^{-7}$ до $3 \cdot 10^6$ Зв/ч, эквивалента дозы в диапазоне от $1 \cdot 10^{-6}$ до 10^8 Зв фотонного

излучения 2.1.ZZT.0410.2023.

Для этого, измерения с ИК сначала провести в поле фотонного излучения радионуклида ^{60}Co , в стандартном водном фантоме с геометрическими размерами 30 x 30 x 30 см, на глубине, соответствующей поверхностной плотности 5 г/см², с заданным значением мощности поглощенной дозы в воде, близким к верхнему значению диапазона воспроизведения используемого эталона, зафиксировать значение $\dot{D}_{\text{ГЭТ } 38}$. Затем измерения провести на установке рентгеновского излучения из состава ГЭТ 38-2024 с режимом излучения, подобранным таким образом, чтобы показания дозиметра были $\dot{D}_{\text{ГЭТ } 38} \cong \dot{D}_{\text{РА}}^0$. При неизменном качестве излучения рентгеновского аппарата провести измерения для требуемых точек диапазона измерений мощности поглощенной дозы в воде.

10.1.8 Вычислить среднее значение мощности поглощенной дозы в воде, поглощенной дозы в воде фотонного излучения и их относительные среднеквадратические отклонения, %:

$$\bar{D} = \sum_{i=1}^n \dot{D}_i / n \quad \bar{D} = \sum_{i=1}^n D_i / n \quad (1)$$

$$S_{\text{МД}} = \frac{1}{\bar{D}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\dot{D}_i - \bar{D})^2}{n-1}} \cdot 100 \quad S_D = \frac{1}{\bar{D}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (D_i - \bar{D})^2}{n-1}} \cdot 100 \quad (2)$$

где $\dot{D}_i$ и D_i – измеренные значения мощности поглощенной дозы в воде и поглощенной дозы в воде фотонного излучения; n – число наблюдений.

Вычислить оценку относительной систематической составляющей погрешности дозиметра, %:

$$\Delta_{\text{МД}} = \frac{(\bar{D}_i - \dot{D}_{\text{ЭТ}})}{\dot{D}_{\text{ЭТ}}} \cdot 100 \quad \Delta_D = \frac{(\bar{D}_i - D_{\text{ЭТ}})}{D_{\text{ЭТ}}} \cdot 100 \quad (3)$$

В случае применения метода подбора $\dot{D}_{\text{ЭТ}} = \dot{D}_{\text{ЭТ}}^{\text{РА}} = \dot{D}_{\text{РА}}^0 \frac{I_{\text{РА}}^i}{I_{\text{РА}}^0}$, где $I_{\text{РА}}^0$ – значение силы тока проходной ионизационной камеры – монитора, установленной на рентгеновском аппарате при $\dot{D}_{\text{РА}}^0$; $I_{\text{РА}}^i$ – значение силы тока проходной ионизационной камеры-монитора, установленной на рентгеновском аппарате при значениях требуемых точек диапазона измерений мощности поглощенной дозы.

Вычислить доверительные границы относительной погрешности измерений МПД в воде и поглощенной дозы в воде по формуле, %, при доверительной вероятности $P=0,95$:

$$\delta = \frac{\varepsilon + \theta}{S_{\text{МД}} + S_{\theta}} \sqrt{S_{\text{МД}}^2 + S_{\theta}^2} \quad \delta = \frac{\varepsilon + \theta}{S_D + S_{\theta}} \sqrt{S_D^2 + S_{\theta}^2} \quad (4)$$

где $\varepsilon = t_P S_{\text{МД}}$ – доверительные границы случайной относительной погрешности измерений, %; t_P – коэффициент Стьюдента при доверительной вероятности $P = 0,95$ и количестве измерений n ; $S_{\text{МД}}$ – относительное среднее квадратическое отклонение (СКО) результата измерений в точке измерений, %; $S_{\theta} = \frac{\theta}{1,1\sqrt{3}}$ – СКО неисключенной систематической относительной погрешности, %;

$\theta = k \sqrt{\sum_{j=1}^m \theta_j^2 + \Delta_{\text{МД}}^2}$, $\theta = k \sqrt{\sum_{j=1}^m \theta_j^2 + \Delta_D^2}$ ($k = 1,1$ при $P = 0,95$) – границы относительной неисключенной систематической погрешности результата измерений, %; где θ_j – j -я составляющая относительной систематической погрешности, %: $\theta_{\text{ЭТ}}$ – относительная погрешность применяемого эталона; θ_R – относительная погрешность установки расстояния источник – ИК, %; $\theta_{\text{МП}}$ – относительная погрешность при использовании метода подбора, %; θ_T – относительная погрешность времени измерений (при определении значений поглощенной дозы в воде), %; $\Delta_{\text{МД}}$ и Δ_D – оценка относительной систематической составляющей погрешности дозиметра, %.

Вычислить относительную погрешность каждого измерения, %:

$$\Delta_{\text{МДi}} = \frac{(\dot{D}_i - \dot{D}_{\text{эт}})}{\dot{D}_{\text{эт}}} 100 \quad \Delta_{\text{Дi}} = \frac{(D_i - D_{\text{эт}})}{D_{\text{эт}}} 100 \quad (5)$$

где $\dot{D}_i$ и D_i – измеренные значения мощности поглощенной дозы в воде и поглощенной дозы в воде фотонного излучения; $\dot{D}_{\text{эт}}$ и $D_{\text{эт}}$ – эталонное значение мощности поглощенной дозы в воде и поглощенной дозы в воде фотонного излучения.

С применением кабелей-адаптеров (при необходимости) провести измерения мощности поглощенной дозы в воде и поглощенной дозы в воде фотонного излучения для ионизационных камер типов 30013, 31010, 34001, 31024, 31022, 34045, 31022, 31025 для вариантов соединения электрометра и ионизационных камер N – BNT, M – PTW-M, W – TNC.

10.1.9 Результаты операции поверки считать положительными, если доверительные границы относительной погрешности измерений, вычисленные по формуле (4), и относительная погрешность каждого измерения, вычисленная по формуле (5), для МПД в воде и ПД в воде фотонного излучения в диапазонах измерений, указанных в таблице 5, находятся в пределах основной относительной погрешности $\pm 2,0\%$.

10.2 Определение диапазона и основной относительной погрешности измерений поглощенной дозы в воде, мощности поглощенной дозы в воде электронного излучения.

10.2.1 Определение диапазонов измерений поглощенной дозы в воде, мощности поглощенной дозы в воде электронного излучения провести следующим образом.

Установить ИК в поле электронного излучения, в стандартном водном фантоме с геометрическими размерами 30 x 30 x 30 см, таким образом, чтобы продольная ось пучка излучения проходила через центр ИК.

10.2.2 Измерения поглощенной дозы в воде электронного излучения и мощности поглощенной дозы в воде электронного излучения в зависимости от состава дозиметра провести в диапазонах единиц величин, указанных в таблице 6.

Таблица 6

Наименование, единицы измерения	Значение
Диапазон измерений МПД электронного излучения для ионизационных камер, Гр/мин:	
30013	от $6,0 \cdot 10^{-4}$ до $3,0 \cdot 10^{-2}$
31010	от $3,6 \cdot 10^{-3}$ до $3,5 \cdot 10^{-3}$
34001	от $1,0 \cdot 10^{-3}$ до $3,1 \cdot 10^{-2}$
34045	от $1,0 \cdot 10^{-3}$ до $3,1 \cdot 10^{-2}$
Диапазон измерений ПД в воде электронного излучения для ионизационных камер, Гр:	
30013	от $1,0 \cdot 10^{-4}$ до $1,0 \cdot 10^6$
31010	от $6,0 \cdot 10^{-4}$ до $1,0 \cdot 10^6$
34001	от $2,0 \cdot 10^{-4}$ до $1,0 \cdot 10^6$
34045	от $2,0 \cdot 10^{-4}$ до $1,0 \cdot 10^6$

10.2.3 Включить режим измерений, ввести в программу обработки данные условий проведения измерений (влияющие факторы) в месте расположения ИК.

10.2.4 Провести измерение фоновых значений в отсутствие поля излучения. Провести не менее 5 измерений. Фоновые значения учитываются автоматически.

10.2.5 Провести измерения в поле электронного излучения в диапазонах, указанных в таблице 5, не менее чем в трех равномерно расположенных точках диапазона. Провести не менее 5

измерений. Относительное СКО оценки результатов измерений должно быть $\leq |0,4|$ %, если значение относительного СКО оценки результатов измерений превышает $|0,4|$ %, количество измерений следует увеличить.

10.2.6 Метод подобия применить для проверки линейности средства измерений в заявленном диапазоне измерений.

Для этого измерения с ИК сначала провести в поле электронного излучения со значением мощности поглощенной дозы в воде $\dot{D}_{\text{ГЭТ } 38}^{\text{эл}}$ по п. 10.2.5. Затем измерения провести на установке рентгеновского излучения из состава ГЭТ 38-2024 с режимом излучения, подобранным таким образом, чтобы показания дозиметра были $\dot{D}_{\text{ГЭТ } 38}^{\text{эл}} \cong \dot{D}_{\text{РА}}^0$. При неизменном качестве излучения рентгеновского аппарата провести измерения для требуемых точек диапазона измерений мощности поглощенной дозы в воде. Для проходной ионизационной камеры – монитора, установленной на рентгеновском аппарате, должны быть учтены влияющие факторы на момент измерений.

10.2.7 Вычислить среднее значение мощности поглощенной дозы, поглощенной дозы и их относительные среднеквадратические отклонения, %:

$$\bar{D} = \sum_{i=1}^n \dot{D}_i / n \quad \bar{D} = \sum_{i=1}^n D_i / n \quad (6)$$

$$S_{\text{МД}} = \frac{1}{\bar{D}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\dot{D}_i - \bar{D})^2}{n-1}} 100 \quad S_{\text{Д}} = \frac{1}{\bar{D}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (D_i - \bar{D})^2}{n-1}} 100 \quad (7)$$

где $\dot{D}_i$ и D_i – измеренные значения мощности поглощенной дозы в воде электронного излучения и поглощенной дозы в воде электронного излучения; n – число наблюдений.

Вычислить оценку относительной систематической составляющей погрешности дозиметра, %:

$$\Delta_{\text{МД}} = \frac{(\dot{D}_{\text{е}} - \dot{D}_{\text{эт}})}{\dot{D}_{\text{эт}}} \cdot 100 \quad \Delta_{\text{Д}} = \frac{(D_{\text{е}} - D_{\text{эт}})}{D_{\text{эт}}} \cdot 100 \quad (8)$$

где $\dot{D}_{\text{е}}$ и $D_{\text{е}}$ – значение мощности поглощенной дозы и поглощенной дозы электронного излучения.

$$\dot{D}_{\text{е}} = \bar{D} \cdot k_Q$$

где k_Q – поправка на качество радиационного пучка из документа «Technical reports series No. 398 (Rev. 1) INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY VIENNA, 2024», таблица 20, в соответствии с глубиной половинного значения дозы R_{50} . R_{50} – это глубина в воде (в г/см²), при которой ионизационный ток ИК равен 50 % от максимального значения;

$\bar{D}$ и D – показания дозиметра;

$\dot{D}_{\text{эт}}$ и $D_{\text{эт}}$ – эталонное значение мощности поглощенной дозы в воде электронного излучения и поглощенной дозы в воде электронного излучения.

В случае применения метода подобия $\dot{D}_{\text{эт}} = \dot{D}_{\text{эт}}^{\text{усл}} = \dot{D}_{\text{РА}}^0 \cdot \frac{I_{\text{РА}}^i}{I_{\text{РА}}^0}$

где $I_{\text{РА}}^0$ – значение силы тока проходной ионизационной камеры – монитора, установленной на рентгеновском аппарате при $\dot{D}_{\text{РА}}^0$;

$I_{\text{РА}}^i$ – значение силы тока проходной ионизационной камеры – монитора, установленной на рентгеновском аппарате при значениях требуемых точек диапазона измерений мощности поглощенной дозы.

Вычислить доверительные границы относительной погрешности измерений мощности поглощенной дозы и поглощенной дозы по формуле, %, при доверительной вероятности $P=0,95$:

$$\delta = \frac{\varepsilon + \theta}{S_{\text{МД}} + S_{\theta}} \cdot \sqrt{S_{\text{МД}}^2 + \delta_{k_Q}^2 + S_{\theta}^2} \quad \delta = \frac{\varepsilon + \theta}{S_{\text{Д}} + S_{\theta}} \cdot \sqrt{S_{\text{Д}}^2 + \delta_{k_Q}^2 + S_{\theta}^2} \quad (9)$$

где:

ε – доверительные границы случайной относительной погрешности измерений, %, $\varepsilon = t_p \cdot S_{MD}$;
 t_p – коэффициент Стьюдента при доверительной вероятности $P = 0,95$ и количестве измерений n ;
 S_{MD} – относительное среднее квадратическое отклонение результата измерений в точке измерений, %;

δ_{k_Q} – относительная стандартная неопределенность k_Q , в соответствии с документом «Technical reports series No. 398 (Rev. 1) INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY VIENNA, 2024», для электронного излучения составляет 0,6 % (таблица 24);

S_θ – среднее квадратическое отклонение неисключенной систематической относительной погрешности, %;

$$S_\theta = \frac{\theta}{1,1 \cdot \sqrt{3}}$$

θ – границы относительной неисключенной систематической погрешности результата измерений, %,

$$\theta = k \cdot \sqrt{\sum_{j=1}^m \theta_j^2 + \Delta_{MD}^2} \quad \theta = k \cdot \sqrt{\sum_{j=1}^m \theta_j^2 + \Delta_D^2} \quad (k = 1,1 \text{ при } P = 0,95)$$

где:

θ_j – j -я составляющая относительной систематической погрешности, %:

$\theta_{эт}$ – относительная погрешность применяемого эталона;

θ_R – относительная погрешность установки расстояния, %;

$\theta_{МП}$ – относительная погрешность при использовании метода подобию, %;

θ_T – относительная погрешность времени измерений (при определении значений поглощенной дозы в воде), %;

Δ_{MD} и Δ_D – оценка относительной систематической составляющей погрешности дозиметра, %.

Вычислить относительную погрешность каждого измерения, %:

$$\Delta_{MDi} = \frac{(\dot{D}_i - \dot{D}_{эт})}{\dot{D}_{эт}} 100 \quad \Delta_{Di} = \frac{(D_i - D_{эт})}{D_{эт}} 100 \quad (10)$$

где $\dot{D}_i$ и D_i – значение мощности поглощенной дозы и поглощенной дозы электронного излучения.

$$\dot{D}_i = \dot{D} \cdot k_Q$$

где k_Q – поправка на качество радиационного пучка из документа «Technical reports series No. 398 (Rev. 1) INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY VIENNA, 2024», таблица 20, в соответствии с глубиной половинного значения дозы R_{50} . R_{50} – это глубина в воде (в г/см²), при которой ионизационный ток ИК равен 50 % от максимального значения;

$\dot{D}$ и D – показания дозиметра;

$\dot{D}_{эт}$ и $D_{эт}$ – эталонное значение мощности поглощенной дозы в воде электронного излучения и поглощенной дозы в воде электронного излучения.

$$\text{В случае применения метода подобию } \dot{D}_{эт} = \dot{D}_{эт}^{ysl} = \dot{D}_{РА}^0 \cdot \frac{I_{РА}^i}{I_{РА}^0}$$

где $I_{РА}^0$ – значение силы тока проходной ионизационной камеры – монитора, установленной на рентгеновском аппарате при $\dot{D}_{РА}^0$;

$I_{РА}^i$ – значение силы тока проходной ионизационной камеры – монитора, установленной на рентгеновском аппарате при значениях требуемых точек диапазона измерений мощности поглощенной дозы.

С применением кабелей-адаптеров (при необходимости) провести измерения мощности поглощенной дозы в воде и поглощенной дозы в воде электронного излучения для ионизационных камер типов 30013, 31010, 34001, 34045 для вариантов соединения электрометра и ионизационных камер N – BNT, M – PTW-M, W – TNC.

10.2.8 Результаты операции поверки считать положительными, если доверительные границы относительной погрешности измерений, вычисленные по формуле (9), и относительная погрешность каждого измерения, вычисленная по формуле (10), для МПД в воде и ПД в воде электронного излучения в диапазонах измерений, указанных в таблице 6, находятся в пределах относительной погрешности $\pm 2,7\%$.

10.3 Определение диапазона и основной относительной погрешности измерений поглощенной дозы в воде, мощности поглощенной дозы в воде протонного излучения.

10.3.1 Определение диапазонов измерений поглощенной дозы в воде и мощности поглощенной дозы в воде протонного излучения провести следующим образом.

Установить ИК в поле протонного излучения, в стандартном водном фантоме с геометрическими размерами 30 x 30 x 30 см, таким образом, чтобы продольная ось пучка излучения проходила через центр ИК.

10.3.2 Измерения поглощенной дозы и мощности поглощенной дозы в воде протонного излучения, в зависимости от состава дозиметра, провести в диапазонах единиц величин, указанных в таблице 7.

Таблица 7

Наименование, единицы измерения	Значение
Диапазон измерений МПД протонного излучения для ионизационных камер, Гр/мин:	
30013	от $6,0 \cdot 10^{-4}$ до $3,0 \cdot 10^{-2}$
31010	от $3,6 \cdot 10^{-3}$ до $3,5 \cdot 10^{-3}$
34001	от $1,0 \cdot 10^{-3}$ до $3,1 \cdot 10^{-2}$
34045	от $1,0 \cdot 10^{-3}$ до $3,1 \cdot 10^{-2}$
Диапазон измерений ПД в воде протонного излучения для ионизационных камер, Гр:	
30013	от $1,0 \cdot 10^{-4}$ до $1,0 \cdot 10^6$
31010	от $6,0 \cdot 10^{-4}$ до $1,0 \cdot 10^6$
34001	от $2,0 \cdot 10^{-4}$ до $1,0 \cdot 10^6$
34045	от $2,0 \cdot 10^{-4}$ до $1,0 \cdot 10^6$

10.3.3 Включить режим измерений, ввести в программу обработки данные условий проведения измерений (влияющие факторы) в месте расположения ИК.

10.3.4 Провести измерение фоновых значений в отсутствие поля излучения. Провести не менее 5 измерений. Фоновые значения учитываются автоматически.

10.3.5 Провести измерения в поле протонного излучения в диапазонах, указанных в таблице 5, не менее чем в трех равномерно расположенных точках диапазона. Провести не менее 5 измерений. Относительное СКО оценки результатов измерений должно быть $\leq |0,4| \%$, если значение относительного СКО оценки результатов измерений превышает $|0,4| \%$, количество измерений следует увеличить.

10.3.6 Метод подобия применить для проверки линейности средства измерений в заявленном диапазоне измерений.

Для этого измерения с ИК сначала провести в поле протонного излучения со значением мощности поглощенной дозы в воде $\dot{D}_{\text{ГЭТ 38}}^{\text{прот}}$ по п. 10.3.5. Затем измерения провести на установке рентгеновского излучения из состава ГЭТ 38-2024 с режимом излучения, подобранным таким образом, чтобы показания дозиметра были $\dot{D}_{\text{ГЭТ 38}}^{\text{прот}} \cong \dot{D}_{\text{РА}}^0$. При неизменном качестве излучения рентгеновского аппарата провести измерения для требуемых точек диапазона измерений мощности поглощенной дозы в воде. Для проходной ионизационной камеры – монитора, установленной на рентгеновском аппарате, должны быть учтены влияющие факторы на момент измерений.

10.3.7 Вычислить среднее значение мощности поглощенной дозы, поглощенной дозы и их относительные среднеквадратические отклонения, %:

$$\bar{\dot{D}} = \sum_{i=1}^n \dot{D}_i / n \quad \bar{D} = \sum_{i=1}^n D_i / n \quad (11)$$

$$S_{\text{МД}} = \frac{1}{\bar{\dot{D}}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\dot{D}_i - \bar{\dot{D}})^2}{n-1}} 100 \quad S_{\text{Д}} = \frac{1}{\bar{D}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (D_i - \bar{D})^2}{n-1}} 100 \quad (12)$$

где $\dot{D}_i$ и D_i – измеренные значения мощности поглощенной дозы и поглощенной дозы в воде протонного излучения; n – число наблюдений.

Вычислить оценку относительной систематической составляющей погрешности дозиметра, %:

$$\Delta_{\text{МД}} = \frac{(\dot{D}_{\text{пр}} - \dot{D}_{\text{эт}})}{\dot{D}_{\text{эт}}} \cdot 100 \quad \Delta_{\text{Д}} = \frac{(D_{\text{пр}} - D_{\text{эт}})}{D_{\text{эт}}} \cdot 100 \quad (13)$$

где $\dot{D}_{\text{пр}}$ и $D_{\text{пр}}$ – значение мощности поглощенной дозы и поглощенной дозы протонного излучения.

$$\dot{D}_{\text{пр}} = \bar{\dot{D}} \cdot k_Q$$

где k_Q – поправка на качество радиационного пучка из документа «Technical reports series No. 398 (Rev. 1) INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY VIENNA, 2024», таблица 37a,b, в соответствии с R_{res} . R_{res} – это остаточный пробег протонных пучков (в г/см²);

$\bar{\dot{D}}$ – показания дозиметра;

$\dot{D}_{\text{эт}}$ и $D_{\text{эт}}$ – эталонное значение мощности поглощенной дозы и поглощенной дозы протонного излучения.

$$\text{В случае применения метода подобия } \dot{D}_{\text{эт}} = \dot{D}_{\text{эт}}^{\text{учл}} = \dot{D}_{\text{РА}}^0 \cdot \frac{I_{\text{РА}}^i}{I_{\text{РА}}^0}$$

где $I_{\text{РА}}^0$ – значение силы тока проходной ионизационной камеры – монитора, установленной на рентгеновском аппарате при $\dot{D}_{\text{РА}}^0$;

$I_{\text{РА}}^i$ – значение силы тока проходной ионизационной камеры – монитора, установленной на рентгеновском аппарате при значениях требуемых точек диапазона измерений мощности поглощенной дозы.

Вычислить доверительные границы относительной погрешности измерений мощности поглощенной дозы и поглощенной дозы протонного излучения по формуле, %, при доверительной вероятности $P=0,95$:

$$\delta = \frac{\varepsilon + \theta}{S_{\text{МД}} + S_{\theta}} \cdot \sqrt{S_{\text{МД}}^2 + \delta_{k_Q}^2 + S_{\theta}^2} \quad \delta = \frac{\varepsilon + \theta}{S_{\text{Д}} + S_{\theta}} \cdot \sqrt{S_{\text{Д}}^2 + \delta_{k_Q}^2 + S_{\theta}^2} \quad (14)$$

где: ε – доверительные границы случайной относительной погрешности измерений, %, $\varepsilon = t_p \cdot S_{MD}$;
 t_p – коэффициент Стьюдента при доверительной вероятности $P = 0,95$ и количестве измерений n ;
 S_{MD} – относительное среднее квадратическое отклонение результата измерений в точке измерений, %;

δ_{k_Q} – относительная стандартная неопределенность k_Q , в соответствии с документом «Technical reports series No. 398 (Rev. 1) INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY VIENNA, 2024», для протонного излучения составляет 1,4 % (таблица 38);

S_θ – среднее квадратическое отклонение неисключенной систематической относительной погрешности, %; $S_\theta = \frac{\theta}{1,1 \cdot \sqrt{3}}$

θ – границы относительной неисключенной систематической погрешности результата измерений, %,

$$\theta = k \cdot \sqrt{\sum_{j=1}^m \theta_j^2 + \Delta_{MD}^2} \quad \theta = k \cdot \sqrt{\sum_{j=1}^m \theta_j^2 + \Delta_D^2} \quad (k = 1,1 \text{ при } P = 0,95)$$

где: θ_j – j -я составляющая относительной систематической погрешности, %:

$\theta_{ЭТ}$ – относительная погрешность применяемого эталона;

θ_R – относительная погрешность установки расстояния, %;

$\theta_{МП}$ – относительная погрешность при использовании метода подобия, %;

θ_T – относительная погрешность времени измерений (при определении значений поглощенной дозы), %

Δ_{MD} и Δ_D – оценка относительной систематической составляющей погрешности дозиметра, %.

Вычислить относительную погрешность каждого измерения, %:

$$\Delta_{MDi} = \frac{(\dot{D}_i - \dot{D}_{ЭТ})}{\dot{D}_{ЭТ}} 100 \quad \Delta_{Di} = \frac{(D_i - D_{ЭТ})}{D_{ЭТ}} 100 \quad (15)$$

где $\dot{D}_i$ и D_i – значение мощности поглощенной дозы и поглощенной дозы протонного излучения. $\dot{D}_i = \dot{D} \cdot k_Q$, где k_Q – поправка на качество радиационного пучка из документа «Technical reports series No. 398 (Rev. 1) INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY VIENNA, 2024», таблица 37a,b, в соответствии с R_{res} . R_{res} – это остаточный пробег протонных пучков (в г/см²);

$\dot{D}_{ЭТ}$ и $D_{ЭТ}$ – эталонное значение мощности поглощенной дозы в воде протонного излучения и поглощенной дозы в воде протонного излучения.

$$\text{В случае применения метода подобия } \dot{D}_{ЭТ} = \dot{D}_{ЭТ}^{ysl} = \dot{D}_{РА}^0 \cdot \frac{I_{РА}^i}{I_{РА}^0}$$

где $I_{РА}^0$ – значение силы тока проходной ионизационной камеры – монитора, установленной на рентгеновском аппарате при $\dot{D}_{РА}^0$;

$I_{РА}^i$ – значение силы тока проходной ионизационной камеры – монитора, установленной на рентгеновском аппарате при значениях требуемых точек диапазона измерений мощности поглощенной дозы.

С применением кабелей-адаптеров (при необходимости) провести измерения мощности поглощенной дозы в воде и поглощенной дозы в воде протонного излучения для ионизационных камер типов 30013, 31010, 34001, 34045 для вариантов соединения электрометра и ионизационных камер N – BNT, M – PTW-M, W – TNC.

10.3.8 Результаты операции поверки считать положительными, если доверительные границы относительной погрешности измерений, вычисленные по формуле (14), и относительная погрешность каждого измерения, вычисленная по формуле (15), для МПД в воде и ПД в воде протонного излучения в диапазонах измерений, указанных в таблице 7, находятся в пределах относительной погрешности $\pm 3,8$ %.

11 Оформление результатов поверки

11.1 При положительных результатах поверки по заявлению владельца средства измерений или лица, представившего его на поверку, выдается свидетельство о поверке средства измерений, оформленное в соответствии с действующими нормативно-правовыми документами.

11.2 При отрицательных результатах поверки по заявлению владельца средства измерений или лица, представившего его на поверку, выдается извещение о непригодности к применению средства измерений, оформленное в соответствии с действующими нормативно-правовыми документами.

11.3 Нанесение знака поверки на дозиметры универсальные UNIDOS Romeo не предусмотрено.

11.4 Требования к оформлению протокола поверки не предъявляются.

11.5 Сведения о результатах проведенной поверки средства измерений в целях ее подтверждения передаются в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений в установленном порядке.

И.о. начальника НИО-4
ФГУП «ВНИИФТРИ»

Начальник лаб. 410
НИО-4 ФГУП «ВНИИФТРИ»



О.А. Картавенко

А.В. Берлянд