

**Федеральное государственное унитарное предприятие
«Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д.И. Менделеева»
ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева»**



СОГЛАСОВАНО

**Генеральный директор
ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева»**

М.П.

А.Н. Пронин

«19» декабря 2023 г.

Государственная система обеспечения единства измерений

**Дозиметры универсальные
для контроля характеристик рентгеновских аппаратов
Piranha**

Методика поверки

МП 2103-031-2023

**И.о. руководителя отдела измерений
ионизирующих излучений
ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева»**

 **Г.В. Жуков**

**Старший научный сотрудник отдела
измерений ионизирующих излучений
ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева»**

 **А.Ю. Виллевальде**

**Санкт-Петербург
2023**

Содержание

Общие положения	3
1 Перечень операций поверки средства измерений	4
2 Требования к условиям проведения поверки	6
3 Требования к специалистам, осуществляющим поверку	6
4 Метрологические и технические требования к средствам поверки	6
5 Требования по обеспечению безопасности проведения поверки	9
6 Внешний осмотр средства измерений	9
7 Подготовка к поверке и опробование средства измерений	10
8 Проверка программного обеспечения	10
9 Определение метрологических характеристик средства измерений и подтверждение соответствия средства измерений метрологическим требованиям	10
10 Оформление результатов поверки	21
Приложение 1	22

Общие положения

Настоящая методика поверки распространяется на дозиметры универсальные для контроля характеристик рентгеновских аппаратов Piranha (далее по тексту – дозиметры Piranha), предназначенные для измерений: кермы в воздухе, мощности кермы в воздухе, произведения кермы в воздухе (дозы) на длину, анодного напряжения на рентгеновской трубке, времени экспозиции, количества импульсов, анодного тока, произведения анодного тока на время экспозиции, слоя половинного ослабления (далее – СПО), полной фильтрации.

Настоящая МП устанавливает методы и средства первичной и периодической поверки.

Первичной поверке подлежат дозиметры Piranha до ввода в эксплуатацию, выпускаемые в обращение после ремонта, при замене детектора из состава дозиметра Piranha или включении нового детектора в состав дозиметра Piranha. Периодической поверке подлежат дозиметры Piranha, находящиеся в эксплуатации.

Поверка обеспечивает прослеживаемость поверяемого средства измерений к следующим эталонам:

- Государственному первичному эталону единиц кермы в воздухе, мощности кермы в воздухе, экспозиционной дозы, мощности экспозиционной дозы и потока энергии рентгеновского и гамма-излучений ГЭТ 8-2019 в соответствии с Государственной поверочной схемой (далее по тексту – ГПС) для средств измерений кермы в воздухе, мощности кермы в воздухе, экспозиционной дозы, мощности экспозиционной дозы, амбиентного, направленного и индивидуального эквивалентов дозы, мощностей амбиентного, направленного и индивидуального эквивалентов дозы и потока энергии рентгеновского и гамма-излучений, утвержденной приказом Росстандарта от 31.12.2020 г. № 2314;

- Государственному первичному специальному эталону единицы электрического напряжения постоянного тока – вольт в диапазоне от 1 до 500 кВ (положительной и отрицательной полярностей) ГЭТ 181-2022 в соответствии с ГПС для средств измерений электрического напряжения постоянного тока в диапазоне от 1 до 500 кВ, утвержденной приказом Росстандарта от 30.12.2022 г. № 3344;

- Государственному первичному эталону единицы длины – метра ГЭТ 2-2021 в соответствии с ГПС для средств измерений длины в диапазоне от $1 \cdot 10^{-9}$ до 100 м и длин волн в диапазоне от 0,2 до 50 мкм, утвержденной приказом Росстандарта от 29.12.2018 г. № 2840;

- Государственному первичному эталону единиц времени, частоты и национальной шкалы времени ГЭТ 1-2022 в соответствии с ГПС для средств измерений времени и частоты, утвержденной приказом Росстандарта от 26.09.2022 г. № 2360;

- Государственному первичному эталону единицы силы постоянного электрического тока ГЭТ 4-91 в соответствии с ГПС для средств измерений силы постоянного электрического тока в диапазоне от $1 \cdot 10^{-16}$ до 100 А, утвержденной приказом Росстандарта от 01.10.2018 г. № 2091.

Для контроля параметров различных типов медицинских рентгенодиагностических аппаратов дозиметры Piranha имеют модификации: Piranha Multi, Piranha R/F, Piranha CT, Piranha Mammo, Piranha Dental.

В методике поверки приняты следующие обозначения для типов медицинских рентгенодиагностических аппаратов, с которыми используются дозиметры Piranha: R&F – рентгенографические, рентгеноскопические и ангиографические, D – стоматологические (дентальные), M – маммографические, CT – компьютерные томографы.

Содержание операций по определению метрологических характеристик дозиметров Piranha отличается для разных модификаций дозиметров Piranha и детекторов, входящих в состав дозиметра.

Методика поверки приведена для дозиметров Piranha в максимальной комплектации:

- дозиметр Piranha (со встроенным детектором);

- детектор Piranha Dose Probe;
- детектор RTI T20 Dose Probe;
- детектор дозового профиля компьютерных томографов CT Dose Profiler;
- ионизационная камера RTI CT Ion Chamber 10 см (с RTI Chamber Adapter);
- ионизационная камера RTI CT Ion Chamber 30 см (с RTI Chamber Adapter);
- ионизационная камера Magna 1cc A600 Ion Chamber (с RTI Chamber Adapter);
- детектор для измерения анодного тока Piranha MAS-1B;
- детектор для измерения анодного тока Piranha MAS-2.

Наличие тех или иных типов детекторов в составе дозиметров Piranha определяется заказчиком. Поверка проводится в полном объеме со всеми имеющимися в составе СИ детекторами.

Методикой поверки предусмотрена возможность проведения периодической поверки дозиметров Piranha в сокращенном объеме для отдельных автономных блоков детектирования (детекторов), для меньшего числа измеряемых величин. Поверка в сокращенном объеме проводится на основании письменного заявления владельца средства измерений или лица, представившего средство измерений на поверку.

Примечание – При пользовании настоящей методикой поверки целесообразно проверить действие ссылочных документов по соответствующему указателю стандартов, составленному по состоянию на 1 января текущего года и по соответствующим информационным указателям, опубликованным в текущем году. Если ссылочный документ заменен (изменен), то при пользовании настоящей методикой следует руководствоваться заменяющим (измененным) документом. Если ссылочный документ отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, применяется в части, не затрагивающей эту ссылку.

1 Перечень операций поверки средства измерений

При проведении поверки должны выполняться операции, указанные в таблице 1.

Таблица 1 – Операции при проведении 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 средства измерений	Да	Да	6
2 Подготовка к поверке и опробование средства измерений	Да	Да	7
3 Проверка программного обеспечения средства измерений	Да	Да	8
4 Определение метрологических характеристик средства измерений и подтверждение соответствия средства измерений метрологическим требованиям			9
4.1 Определение метрологических характеристик при измерениях со встроенным детектором дозиметра Piranha ¹⁾			9.1
4.1.1 Определение основной погрешности при измерениях кермы в воздухе и мощности кермы в воздухе	Да	Да	9.1.1
4.1.2 Определение погрешности при измерениях анодного напряжения на рентгеновской трубке	Да	Да	9.1.2

Наименование операции поверки	Обязательность выполнения операций поверки при		Номер раздела (пункта) методики поверки, в соответствии с которым выполняется операция поверки
	первичной поверке	периодической поверке	
4.1.3 Определение погрешности при измерениях СПО	Да	Да	9.1.3
4.1.4 Определение погрешности при измерениях полной фильтрации	Да	Нет	9.1.4
4.1.5 Определение погрешности при измерениях времени экспозиции	Да	Нет	9.1.5
4.1.6 Определение энергетической зависимости чувствительности	Да	Нет	9.1.6
4.2 Определение метрологических характеристик при измерениях с детектором Piranha Dose Probe ²⁾			9.2
4.2.1 Определение основной погрешности при измерениях кермы в воздухе и мощности кермы в воздухе	Да	Да	9.2.1
4.2.2 Определение энергетической зависимости чувствительности	Да	Нет	9.2.2
4.3 Определение метрологических характеристик при измерениях с детектором RTI T20 Dose Probe ²⁾			9.3
4.3.1 Определение основной погрешности при измерениях кермы в воздухе и мощности кермы в воздухе	Да	Да	9.3.1
4.3.2 Определение энергетической зависимости чувствительности	Да	Нет	9.3.2
4.4 Определение метрологических характеристик при измерениях с детектором CT Dose Profiler ²⁾			9.4
4.4.1 Определение основной погрешности при измерениях мощности кермы в воздухе	Да	Да	9.4.1
4.4.2 Определение энергетической зависимости чувствительности	Да	Нет	9.4.2
4.5 Определение метрологических характеристик при измерениях с ионизационными камерами RTI CT Ion Chamber 10 см и 30 см ²⁾			9.5
4.5.1 Определение основной погрешности при измерениях произведения кермы в воздухе на длину	Да	Да	9.5.1
4.5.2 Определение энергетической зависимости чувствительности	Да	Нет	9.5.2
4.6 Определение метрологических характеристик при измерениях с ионизационной камерой Magna 1cc A600 Ion Chamber ²⁾			9.6

Наименование операции поверки	Обязательность выполнения операций поверки при		Номер раздела (пункта) методики поверки, в соответствии с которым выполняется операция поверки
	первичной поверке	периодической поверке	
4.6.1 Определение основной погрешности при измерениях мощности кермы в воздухе	Да	Да	9.6.1
4.6.2 Определение энергетической зависимости чувствительности	Да	Нет	9.6.2
4.7 Определение погрешности при измерениях анодного тока с детекторами Piranha MAS-1B и MAS-2 ²⁾	Да	Да	9.7
¹⁾ Содержание операций отличается для разных модификаций дозиметров Piranha. ²⁾ Проверка проводится при наличии соответствующего детектора в составе дозиметра.			

2 Требования к условиям проведения поверки

Поверка должна быть проведена при соблюдении следующих условий:

- температура окружающего воздуха от 15 до 25 °С;
- относительная влажность воздуха не более 80 %;
- атмосферное давление от 84 до 106,7 кПа;
- внешний радиационный фон (мощность амбиентного эквивалента дозы) не более 0,20 мкЗв/ч.

3 Требования к специалистам, осуществляющим поверку

К проведению измерений и обработке результатов измерений допускаются лица, имеющие профессиональные знания в области дозиметрии, имеющие допуск к работе с источниками ионизирующих излучений и изучившие эксплуатационную документацию дозиметров Piranha.

4 Метрологические и технические требования к средствам поверки

При проведении поверки должны применяться эталоны и вспомогательные средства поверки, указанные в таблице 2.

Все эталоны и средства измерений должны быть исправны и иметь действующие свидетельства об аттестации или сведения о поверке в Федеральном информационном фонде по обеспечению единства измерений (ФИФ ОЕИ).

Таблица 2 – Эталоны и вспомогательные средства, применяемые при поверке

Операции поверки, требующие применения средств поверки	Метрологические и технические требования к средствам поверки, необходимые для проведения поверки ¹⁾	Перечень рекомендуемых средств поверки
<p>п. 7.3 Контроль условий поверки (при подготовке к поверке)</p> <p>п. 9 Определение метрологических характеристик средства измерений и подтверждение соответствия средства измерений метрологическим требованиям</p>	<p>Диапазон измерений давления от 80 до 110 кПа, абсолютная погрешность измерений $\pm 0,3$ кПа.</p> <p>Диапазон измерений температуры от 15 °С до 25 °С, абсолютная погрешность измерений $\pm 0,2$ °С.</p> <p>Диапазон измерений относительной влажности от 10 % до 98 %, абсолютная погрешность измерений ± 3 %.</p> <p>Средство измерений мощности амбиентного эквивалента дозы в диапазоне измерений от 0,05 мкЗв/ч до 10 Зв/ч, погрешность не более ± 15 %</p>	<p>Приборы контроля параметров воздушной среды «Метеометр МЭС-200А» рег. № в ФИФ ОЕИ 27468-04.</p> <p>Дозиметры рентгеновского и гамма-излучения ДКС-АТ1123 рег. № в ФИФ ОЕИ 19793-19</p>
<p>п. 9.1 Определение метрологических характеристик при измерениях со встроенным детектором дозиметра Piranha</p>	<p>Рабочий эталон 1-го разряда – установка эталонная дозиметрическая кермы в воздухе и мощности кермы в воздухе рентгеновского излучения по ГПС, утвержденной приказом Росстандарта от 31.12.2020 г. № 2314.</p> <p>Диапазон мощности кермы в воздухе от 20 нГр/с до 15 мГр/с, диапазон кермы в воздухе от 1 мкГр до 15 Гр, основная погрешность не более ± 3 %.</p> <p>Режимы рентгеновского излучения серий ²⁾: RQR и RQA (для модификаций Piranha Multi, Piranha R/F, Piranha Dental); RQR-M (для модификаций Piranha Multi, Piranha Mammo).</p> <p>или комплект средств поверки в составе: Рабочий эталон 1-го разряда – дозиметр эталонный кермы в воздухе и мощности кермы в воздухе рентгеновского излучения по ГПС, утвержденной приказом Росстандарта от 31.12.2020 г. № 2314.</p> <p>Диапазон мощности кермы в воздухе от 20 нГр/с до 15 мГр/с, диапазон кермы в воздухе от 1 мкГр до 15 Гр, основная погрешность не более ± 3 %.</p> <p>Рабочий эталон 2-го разряда – измерительная система высокого напряжения по ГПС, утвержденной приказом Росстандарта от 30.12.2022 г. № 3344.</p> <p>Диапазон электрического напряжения постоянного тока от 1 до 150 кВ, погрешность не более ± 1 %.</p>	<p>Установки поверочные рентгеновского излучения УПР-АТ300 рег. № в ФИФ ОЕИ 79729-20</p> <p>Дозиметры универсальные PTW-UNIDOS, PTW-UNIDOS E рег. № в ФИФ ОЕИ 14256-05</p> <p>рег. № в ФИФ ОЕИ 3.2.ВАГ.0015. 2017</p>

Операции поверки, требующие применения средств поверки	Метрологические и технические требования к средствам поверки, необходимые для проведения поверки ¹⁾	Перечень рекомендуемых средств поверки
	<p>Установки рентгеновского излучения с режимами серий ²⁾: RQR и RQA (для модификаций Piranha Multi, Piranha R/F, Piranha Dental); RQR-M (для модификаций Piranha Multi, Piranha Mammo).</p> <p>Набор фильтров из алюминия чистотой не менее 99,9 %, размером не менее 100 мм×100 мм. Суммарная толщина от 0,2 до 14 мм; погрешность не более 10 мкм</p>	<p>ISOVOLT 225 Titan E; Alpha RT MGF-101-2</p> <p>Набор фильтров PTW</p>
<p>п. 9.2 Определение метрологических характеристик при измерениях с детектором Piranha Dose Probe</p> <p>п. 9.3 Определение метрологических характеристик при измерениях с детектором RTI T20 Dose Probe</p> <p>п. 9.4 Определение метрологических характеристик при измерениях с детектором CT Dose Profiler</p> <p>п. 9.5 Определение метрологических характеристик при измерениях с ионизационными камерами RTI CT Ion Chamber 10 см и 30 см</p> <p>п. 9.6 Определение метрологических характеристик при измерениях с ионизационной камерой Magna 1cc A600 Ion Chamber</p>	<p>Рабочий эталон 1-го разряда – установка эталонная дозиметрическая кермы в воздухе и мощности кермы в воздухе рентгеновского излучения по ГПС, утвержденной приказом Росстандарта от 31.12.2020 г. № 2314.</p> <p>Диапазон мощности кермы в воздухе от 20 нГр/с до 15 мГр/с, диапазон кермы в воздухе от 1 мкГр до 15 Гр, основная погрешность не более ± 3 %.</p> <p>Режимы рентгеновского излучения серий ²⁾: RQA (п. 9.2); RQR (п.п. 9.3, 9.4), RQT (п. 9.5); RQR-M (п. 9.6).</p> <p>или комплект средств поверки в составе: Рабочий эталон 1-го разряда – дозиметр эталонный кермы в воздухе и мощности кермы в воздухе рентгеновского излучения по ГПС, утвержденной приказом Росстандарта от 31.12.2020 г. № 2314.</p> <p>Диапазон мощности кермы в воздухе от 20 нГр/с до 15 мГр/с, диапазон кермы в воздухе от 1 мкГр до 15 Гр, основная погрешность не более ± 3 %.</p> <p>Установки рентгеновского излучения с режимами серий ²⁾: RQA (п. 9.2); RQR (п.п. 9.3, 9.4); RQT (п. 9.5); RQR-M (п. 9.6)</p>	<p>Установки поверочные рентгеновского излучения УПР-АТ300 рег. № в ФИФ ОЕИ 79729-20</p> <p>Дозиметры универсальные PTW-UNIDOS, PTW-UNIDOS E рег. № в ФИФ ОЕИ 14256-05</p> <p>ISOVOLT 225 Titan E Alpha RT MGF-101-2</p>
п. 9.1.5 Определение погрешности при измерениях времени экспозиции	Средство измерений интервалов времени в диапазоне от 0 до 9 ч 59 мин 59,99 с, дискретность измеряемых интервалов времени 0,01 с, погрешность не более $\Delta = \pm(9,6 \cdot 10^{-6} T_x + 0,01)$ с, T_x – значение измеренного интервала времени	Секундомеры электронные «Интеграл С-01» рег. № в ФИФ ОЕИ 44154-20

Операции поверки, требующие применения средств поверки	Метрологические и технические требования к средствам поверки, необходимые для проведения поверки ¹⁾	Перечень рекомендуемых средств поверки
п. 9.7 Определение погрешности при измерениях анодного тока с детекторами Piranha MAS-1B и MAS-2	Рабочий эталон 2-го разряда – мультиметр цифровой силы постоянного тока по ГПС, утвержденной приказом Росстандарта от 01.10.2018 г. № 2091. Диапазон силы постоянного тока от 0,5 мА до 2 А, погрешность не более $\pm 0,1$ %. Источник постоянного тока в диапазоне силы тока от 0,5 мА до 2 А	Мультиметры цифровые Fluke 8845A и Fluke 8846A рег. № в ФИФ ОЕИ 57943-14 Источники питания постоянного тока серии E3640 рег. № в ФИФ ОЕИ 80216-20
¹⁾ Допускается применение других аналогичных средств поверки (контроля), обеспечивающих определение метрологических характеристик поверяемого средства измерений с требуемой точностью. ²⁾ Характеристики рекомендованных режимов рентгеновского излучения приведены в Приложении 1. Допускается использование режимов рентгеновского излучения с аналогичными характеристиками.		

5 Требования по обеспечению безопасности проведения поверки

5.1 При проведении поверки должны соблюдаться требования Основных санитарных правил обеспечения радиационной безопасности ОСПОРБ-99/2010 СП 2.6.1.2612-10, Норм радиационной безопасности НРБ-99/2009 СанПиН 2.6.1.2523-09, Правил по охране труда при эксплуатации электроустановок, утвержденных приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 15.12.2020 г. № 903н, действующих инструкций по мерам безопасности в поверочной лаборатории, а также требования безопасности, изложенные в соответствующих разделах эксплуатационной документации на средства поверки и правила техники безопасности, действующие на данном предприятии.

5.2 К работе должны привлекаться только сотрудники, имеющие допуск к работе с источниками ионизирующих излучений.

6 Внешний осмотр средства измерений

При проведении внешнего осмотра дозиметров Piranha должно быть установлено:

- наличие руководства по эксплуатации, описания типа и записи о предыдущей поверке в Федеральном информационном фонде по обеспечению единства измерений (ФИФ ОЕИ) при периодической поверке;
- соответствие комплектности дозиметров Piranha требованиям руководства по эксплуатации в объеме, необходимом для поверки;
- отсутствие механических повреждений и дефектов на дозиметрах Piranha, которые могут повлиять на работоспособность и метрологические характеристики.

7 Подготовка к поверке и опробование средства измерений

7.1 Перед проведением поверки необходимо ознакомиться с руководством по эксплуатации.

7.2 Подготовка средств поверки и вспомогательного оборудования, необходимого для проведения поверки, должна проводиться в соответствии с эксплуатационной документацией на эти средства.

7.3 Контроль условий поверки проводят путем измерений температуры и относительной влажности окружающего воздуха, атмосферного давления, мощности амбиентного эквивалента дозы фонового облучения. Полученные результаты должны соответствовать требованиям к условиям проведения поверки, указанным в п. 2.

7.4 При опробовании дозиметров необходимо проверить в соответствии с руководством по эксплуатации:

- действие органов управления дозиметров Piranha;
- работоспособность источников питания;
- прохождение тестовых установочных команд при включении и отсутствие сигналов об ошибках.

8 Проверка программного обеспечения

8.1 Подтверждение соответствия программного обеспечения (далее – ПО) дозиметров Piranha состоит из следующих этапов:

- проверка наличия и соответствия идентификационных наименований ПО;
- определение номера версии (идентификационного номера) ПО.

8.2 Проверка наличия и соответствия идентификационных наименований ПО выполняется путем проверки наличия программного модуля с соответствующим идентификационным наименованием в каталоге, в котором установлено ПО.

Определение номера версии ПО выполняется для соответствующего программного модуля с помощью стандартных средств операционной системы Windows (щелчок правой кнопкой мыши на иконке программного модуля в Windows Explorer, во всплывающем меню выбрать пункт «Свойства», считать номер версии).

Идентификационные данные ПО должны соответствовать таблице 3.

Таблица 3 – Идентификационные данные программного обеспечения дозиметров Piranha

Идентификационные данные (признаки)	Значение		
	Ocean	Ocean 2014	Ocean Next
Идентификационное наименование программного обеспечения	Ocean.exe	Ocean2014.exe	OceanNext.exe
Номер версии (идентификационный номер) программного обеспечения	1.0.2.XXXXXX		
Примечание – Элемент в обозначении номера версии, замененный символом «X», отвечает за метрологически незначимую часть			

8.3 Результаты проверки ПО считают положительными, если номер версии ПО соответствует указанному в таблице 3.

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

9.1 Определение метрологических характеристик при измерениях со встроенным детектором дозиметра Piranha

При определении метрологических характеристик дозиметр Piranha размещают в поле излучения таким образом, чтобы центральная ось коллимированного пучка рентгеновского

излучения проходила через центр чувствительной области дозиметра, отмеченный на его передней панели, а размер сечения пучка в плоскости, перпендикулярной оси пучка и проходящей через центр чувствительной области дозиметра, полностью перекрывал чувствительную область дозиметра. Центр чувствительной области дозиметра Piranha располагается на глубине 10 мм от края передней панели дозиметра, что обозначено рисками с двух сторон корпуса дозиметра.

Примечание – Допускается совмещать операции поверки по п.п. 9.1.1–9.1.6.

9.1.1 Определение основной погрешности при измерениях кермы в воздухе и мощности кермы в воздухе

Поверку дозиметров Piranha для R&F, D модификаций Piranha Multi, Piranha R/F, Piranha Dental проводят на режиме рентгеновского излучения RQR5 при напряжении генерирования рентгеновской трубки с вольфрамовым анодом 70 кВ.

Поверку дозиметров Piranha для M модификаций Piranha Multi, Piranha Mammo проводят на режиме рентгеновского излучения RQR-M2 при напряжении генерирования рентгеновской трубки с молибденовым анодом 28 кВ.

Измерения кермы в воздухе выполняют не менее чем в четырех точках из диапазона 1 мкГр – 100 Гр, измерения мощности кермы в воздухе выполняют не менее чем в четырех точках из диапазона 1 мкГр/с – 100 мГр/с.

В каждой точке выполняют не менее трех измерений кермы в воздухе K_i , Гр, и мощности кермы в воздухе, \dot{K}_i , Гр/с. Вычисляют их средние арифметические значения \bar{M}_K и $\bar{M}_{\dot{K}}$ соответственно:

$$\bar{M}_K = \sum_{i=1}^n \frac{K_i}{n} \text{ и } \bar{M}_{\dot{K}} = \sum_{i=1}^n \frac{\dot{K}_i}{n} \quad (1)$$

Определяют доверительные границы основной относительной погрешности дозиметра Piranha при доверительной вероятности 0,95 при измерениях кермы в воздухе и мощности кермы в воздухе соответственно:

$$\delta_K = 1,1\sqrt{\delta_{oK}^2 + \delta_o^2 + \Delta_K^2} \text{ и } \delta_{\dot{K}} = 1,1\sqrt{\delta_{o\dot{K}}^2 + \delta_o^2 + \Delta_{\dot{K}}^2}, \% \quad (2)$$

где δ_{oK} и $\delta_{o\dot{K}}$ – погрешности эталонных значений кермы в воздухе и мощности кермы в воздухе соответственно (из протокола аттестации или протокола поверки эталона), %;

δ_o – погрешность метода передачи по ГПС, утвержденной приказом Росстандарта от 31.12.2020 г. № 2314, %;

$$\Delta_K = \frac{\bar{M}_K - K_o}{K_o} \cdot 100 \text{ и } \Delta_{\dot{K}} = \frac{\bar{M}_{\dot{K}} - \dot{K}_o}{\dot{K}_o} \cdot 100 - \text{относительные погрешности показаний при-}$$

бора при измерениях в поверочной точке кермы в воздухе и мощности кермы в воздухе соответственно, %;

K_o – эталонное значение кермы в воздухе в поверочной точке, Гр;

\dot{K}_o – эталонное значение мощности кермы в воздухе в поверочной точке, Гр/с.

Для вычисления абсолютных значений границ основной погрешности дозиметра Piranha при измерениях мощности кермы в воздухе следует умножить полученные значения $\delta_{\dot{K}}$ на соответствующие эталонные значения мощности кермы в воздухе \dot{K}_o .

Примечание – Допускается проводить проверку в поверочных точках на краях диапазона измерений дозиметра методом подбора по ГОСТ 25935-83 «Приборы дозиметрические. Методы измерения основных параметров» с использованием других режимов рентгеновского излучения:

1) Измерения мощности кермы в воздухе выполняют на режиме рентгеновского излучения, на котором проводят поверку, при эталонном значении $\dot{K}_{o\text{cal}}$, близком к верхнему значению диапазона эталонной установки. В этой точке вычисляют переходной коэффициент $k = \dot{K}_{o\text{cal}} / \bar{M}_{\text{cal}}$, где \bar{M}_{cal} – среднее арифметическое показаний дозиметра по мощности кермы в воздухе в первой точке измерений, Гр/с.

2) Измерения повторяют на заданном режиме излучения, характеристики которого подбираются таким образом, чтобы показания дозиметра были близки к \bar{M}_{cal} . Определяют эталонное значение мощности кермы в

воздухе: $\dot{K}_{ox} = k \cdot \bar{M}_x$, где \bar{M}_x – среднее арифметическое показаний дозиметра по мощности кермы в воздухе во второй точке измерений, Гр/с.

3) Эталонное значение мощности кермы в воздухе в каждой последующей точке диапазона измерений на заданном режиме излучения определяют по формуле $\dot{K}_{on} = \dot{K}_{ox} \cdot (m_n / m_x)$, где m_x, m_n – ионизационные токи камеры-свидетеля эталонной установки рентгеновского излучения во второй и n -ой точках измерений соответственно.

4) Измерения кермы в воздухе по методу подобия проводят аналогично.

Дозиметр Piranha для R&F, D модификаций Piranha Multi, Piranha R/F, Piranha Dental считается прошедшим проверку с положительным результатом, если доверительные границы основной относительной погрешности при измерениях кермы в воздухе не превышают пределов допускаемой основной относительной погрешности $\pm 15\%$ в диапазоне от 15 нГр до 1,5 мкГр и $\pm 5\%$ в диапазоне от 1,5 мкГр до 1000 Гр; доверительные границы основной погрешности при измерениях мощности кермы в воздухе не превышают пределов допускаемой основной погрешности $\pm 5\%$ или ± 7 нГр/с (в зависимости от того, что больше).

Дозиметр Piranha для M модификаций Piranha Multi, Piranha Mammo считается прошедшим проверку с положительным результатом, если доверительные границы основной относительной погрешности при измерениях кермы в воздухе не превышают пределов допускаемой основной относительной погрешности $\pm 5\%$; доверительные границы основной погрешности при измерениях мощности кермы в воздухе не превышают пределов допускаемой основной погрешности $\pm 5\%$ или ± 12 нГр/с (в зависимости от того, что больше).

9.1.2 Определение погрешности при измерениях анодного напряжения на рентгеновской трубке

Проверку дозиметров Piranha для R&F модификаций Piranha Multi, Piranha R/F проводят на режимах RQR2–RQR10 при анодных напряжениях 40 кВ, 50 кВ, 70 кВ, 90 кВ, 120 кВ и 150 кВ.

Проверку дозиметров Piranha для D модификации Piranha Dental проводят на режимах RQR2–RQR8 при анодных напряжениях 40 кВ, 50 кВ, 70 кВ, 90 кВ и 100 кВ.

Проверку дозиметров Piranha для M модификаций Piranha Multi, Piranha Mammo проводят на режимах RQR-M1–RQR-M4 при анодных напряжениях 25 кВ, 28 кВ, 30 кВ и 35 кВ.

Примечание – При периодической поверке допускается проводить проверку в выборочных точках диапазона измерений, но не менее чем в трех точках из диапазона.

В каждой точке выполняют не менее трех измерений практического пикового анодного напряжения на рентгеновской трубке и вычисляют их среднее арифметическое значение \bar{U} по формуле, аналогичной (1).

Определяют погрешность дозиметра Piranha при измерениях анодного напряжения:

$$\Delta_U = \bar{U} - U_o, \text{ кВ – абсолютная,} \quad (3)$$

$$\Delta_U = \frac{\bar{U} - U_o}{U_o} \cdot 100, \% \text{ – относительная,} \quad (4)$$

где U_o – эталонное значение анодного напряжения (из технической документации на эталонную дозиметрическую установку), кВ.

Дозиметр Piranha для R&F, D модификаций Piranha Multi, Piranha R/F, Piranha Dental считается прошедшим проверку с положительным результатом, если относительная погрешность при измерениях анодного напряжения на рентгеновской трубке не превышает пределов допускаемой относительной погрешности $\pm 2,5\%$.

Дозиметр Piranha для M модификаций Piranha Multi, Piranha Mammo считается прошедшим проверку с положительным результатом, если погрешность при измерениях анодного напряжения на рентгеновской трубке не превышает пределов допускаемой погрешности $\pm 2\%$ или $\pm 0,7$ кВ (в зависимости от того, что больше).

9.1.3 Определение погрешности при измерениях СПО

Проверку дозиметров Piranha для R&F модификаций Piranha Multi, Piranha R/F проводят на режимах рентгеновского излучения RQR2–RQR9 и RQA5–RQA9 при напряжениях генерирования на рентгеновской трубке 40 кВ, 50 кВ, 70 кВ, 90 кВ и 120 кВ.

Проверку дозиметров Piranha для D модификации Piranha Dental проводят на режимах рентгеновского излучения RQR2–RQR8 и RQA5–RQA8 при напряжениях генерирования на рентгеновской трубке 40 кВ, 50 кВ, 70 кВ, 90 кВ и 100 кВ.

Проверку дозиметров Piranha для M модификаций Piranha Multi, Piranha Mammo проводят на режимах рентгеновского излучения RQR-M1–RQR-M4 и RQA-M2–RQA-M4 при напряжениях генерирования на рентгеновской трубке 25 кВ, 28 кВ, 30 кВ и 35 кВ.

Проводят измерения СПО и определяют погрешность дозиметра Piranha при измерениях СПО:

$$\Delta_{HVL} = HVL_i - HVL_o, \text{ мм Al – абсолютная,} \quad (5)$$

$$\Delta_{HVL} = \frac{HVL_i - HVL_o}{HVL_o} \cdot 100, \% \text{ – относительная,} \quad (6)$$

где HVL_i – эталонное значение СПО (из технической документации на эталонную дозиметрическую установку), мм Al.

Примечание – Допускается определять эталонное значение СПО на заданном режиме рентгеновского излучения следующим образом с помощью эталонного дозиметра:

1) Эталонный дозиметр устанавливают в опорную точку в центре поля излучения и включают режим излучения.

2) Определяют значение мощности кермы в воздухе. Измерения повторяют не менее трех раз, контролируя воспроизводимость поля рентгеновского излучения, и определяют эталонное значение мощности кермы в воздухе как среднее арифметическое значение \bar{K}_o , Гр/с, по формуле, аналогичной (1).

3) На расстоянии, составляющем половину расстояния от эталонного дозиметра до центра анода рентгеновской трубки, устанавливают фильтр из алюминия чистотой не менее 99,9 % и толщиной, измеренной с погрешностью не более 10 мкм. Толщину фильтра подбирают таким образом, чтобы она была как можно ближе к предполагаемой толщине СПО излучения для данного режима, но меньше него, x_1 , мм.

4) Выполняют действия по п. 2): \bar{K}_1 , Гр/с, и рассчитывают отношение $y_1 = \bar{K}_1 / \bar{K}_o$.

5) Выполняют действия по п. 3), подобрав толщину фильтра больше предполагаемого СПО, x_2 , мм.

6) Выполняют действия по п. 2): \bar{K}_2 , Гр/с, и рассчитывают отношение $y_2 = \bar{K}_2 / \bar{K}_o$.

7) Рассчитывают действительное значение СПО для заданного режима методом линейной интерполяции:

$$HVL_o = \frac{x_2 - x_1}{y_2 - y_1} (0,5 - y_1) + x_1, \text{ мм Al.}$$

Дозиметр Piranha для R&F, D модификаций Piranha Multi, Piranha R/F, Piranha Dental считается прошедшим проверку с положительным результатом, если погрешность при измерениях СПО не превышает пределов допускаемой погрешности $\pm 7\%$ или $\pm 0,2$ мм Al (в зависимости от того, что больше).

Дозиметр Piranha для M модификаций Piranha Multi, Piranha Mammo считается прошедшим проверку с положительным результатом, если относительная погрешность при измерениях СПО не превышает пределов допускаемой относительной погрешности $\pm 10\%$.

9.1.4 Определение погрешности при измерениях полной фильтрации

Проверку дозиметров Piranha для R&F, D модификаций Piranha Multi, Piranha R/F, Piranha Dental проводят на режимах рентгеновского излучения RQR5–RQR9 и RQA5–RQA9 при напряжениях генерирования на рентгеновской трубке 70 кВ, 90 кВ и 120 кВ в диапазоне полной фильтрации 2–38 мм Al.

Проводят измерения полной фильтрации и определяют погрешность дозиметра Piranha при измерениях полной фильтрации:

$$\Delta_h = h_i - h_o, \text{ мм Al – абсолютная,} \quad (7)$$

$$\Delta_h = \frac{h_i - h_o}{h_o} \cdot 100, \% - \text{относительная}, \quad (8)$$

где h_i – показания прибора при измерениях полной фильтрации, мм Al;

h_o – эталонное значение полной фильтрации (из технической документации на эталонную дозиметрическую установку), мм Al.

Примечание – Полная фильтрация включает в себя значения собственной фильтрации и дополнительной фильтрации. Собственная фильтрация состоит из фильтрации рентгеновского излучателя и, если применяется, фильтрации ионизационной камеры-монитора согласно соответствующей технической документации. Дополнительная фильтрация определяется как толщина дополнительного фильтра в зависимости от используемого режима излучения (см. Приложение 1).

Дозиметр Piranha для R&F, D модификаций Piranha Multi, Piranha R/F, Piranha Dental считается прошедшим проверку с положительным результатом, если погрешность при измерениях полной фильтрации не превышает пределов допускаемой погрешности $\pm 10\%$ или $\pm 0,3$ мм Al (в зависимости от того, что больше).

9.1.5 Определение погрешности при измерениях времени экспозиции

Проверку дозиметров Piranha для R/F, D модификаций Piranha Multi, Piranha R/F, Piranha Dental проводят на режиме RQR5.

Проверку дозиметров Piranha для M модификации Piranha Mammo проводят на режиме RQR-M2.

Выполняют облучение дозиметра не менее чем при трех значениях времени экспозиции из диапазона от 1 до 300 с, измеряя время экспозиции одновременно с помощью дозиметра Piranha и секундомера.

Определяют погрешность дозиметра Piranha при измерениях времени экспозиции:

$$\Delta_t = t_i - t_o, \text{ с} - \text{абсолютная}, \quad (9)$$

$$\Delta_t = \frac{t_i - t_o}{t_o} \cdot 100, \% - \text{относительная}, \quad (10)$$

где t_i – показания прибора при измерениях времени экспозиции, с;

t_o – эталонное значение времени экспозиции, измеренное секундомером, с.

Дозиметр Piranha для R&F, D, M модификаций Piranha Multi, Piranha R/F, Piranha Dental, Piranha Mammo считается прошедшим проверку с положительным результатом, если погрешность при измерениях времени экспозиции не превышает пределов допускаемой погрешности $\pm 0,5\%$ или $\pm 0,5$ мс (в зависимости от того, что больше).

9.1.6 Определение энергетической зависимости чувствительности

Проверку дозиметров Piranha для R&F модификаций Piranha Multi, Piranha R/F проводят на режимах рентгеновского излучения RQR2–RQR10 и RQA3–RQA10 при напряжениях генерирования на рентгеновской трубке 40 кВ, 50 кВ, 70 кВ, 90 кВ, 120 кВ и 150 кВ, относительно режимов RQR5 и RQA5.

Проверку дозиметров Piranha для D модификаций Piranha Dental проводят на режимах рентгеновского излучения RQR2–RQR8 и RQA3–RQA7 при напряжениях генерирования на рентгеновской трубке 40 кВ, 50 кВ, 70 кВ, 90 кВ и 100 кВ, относительно режимов RQR5 и RQA5.

Проверку дозиметров Piranha для M модификаций Piranha Multi, Piranha Mammo проводят на режимах рентгеновского излучения RQR-M1–RQR-M4 и RQA-M1–RQA-M4 при напряжениях генерирования на рентгеновской трубке 25 кВ, 28 кВ, 30 кВ и 35 кВ, относительно режимов RQR-M2 и RQA-M2.

Примечание – При периодической поверке допускается проводить проверку в выборочных точках диапазона измерений, но не менее чем в трех точках из диапазона.

Измерения производят при значениях мощности кермы в воздухе от 0,1 до 10 мГр/с.

В каждой точке выполняют не менее трех измерений мощности кермы в воздухе и вычисляют их среднее арифметическое значение по формуле (1).

Для каждого режима рентгеновского излучения определяют коэффициент чувствительности:

$$k_e = \frac{\bar{M}_k}{\dot{K}_o}, \quad (11)$$

где \dot{K}_o – эталонное значение мощности кермы в воздухе для выбранного режима излучения.

Определяют энергетическую зависимость чувствительности дозиметра Piranha:

$$\delta_e = \frac{(k_e - k_{ecal})}{k_{ecal}} \cdot 100, \%, \quad (12)$$

где k_{ecal} – коэффициенты чувствительности для режимов, относительно которых производится определение энергетической зависимости (RQR5, RQA5, RQR-M2 и RQA-M2 соответственно).

Дозиметр Piranha для R&F, D модификаций Piranha Multi, Piranha R/F, Piranha Dental считается прошедшим проверку с положительным результатом, если полученные значения энергетической зависимости чувствительности не превышают допустимых пределов $\pm 7\%$.

Дозиметр Piranha для M модификаций Piranha Multi, Piranha Mammo считается прошедшим проверку с положительным результатом, если полученные значения энергетической зависимости чувствительности не превышают допустимых пределов $\pm 5\%$.

9.2 Определение метрологических характеристик при измерениях с детектором Piranha Dose Probe

При определении метрологических характеристик модификаций дозиметров Piranha, используемых с детектором Piranha Dose Probe, детектор размещают в поле излучения таким образом, чтобы центральная ось коллимированного пучка рентгеновского излучения проходила через центр чувствительной области детектора Piranha Dose Probe, отмеченный на его передней панели, а размер сечения пучка в плоскости, перпендикулярной оси пучка и проходящей через центр чувствительной области детектора, полностью перекрывал его чувствительную область. Центр чувствительной области детектора Piranha Dose Probe располагается на глубине 2 мм от края передней поверхности детектора.

9.2.1 Определение основной погрешности при измерениях кермы в воздухе и мощности кермы в воздухе

Проверку проводят на режиме рентгеновского излучения RQA5 при напряжении генерирования рентгеновской трубки с вольфрамовым анодом 70 кВ.

Измерения кермы в воздухе выполняют не менее чем в четырех точках из диапазона от 10 нГр до 50 Гр, измерения мощности кермы в воздухе выполняют не менее чем в четырех точках из диапазона от 10 нГр/с до 50 мГр/с.

В каждой точке выполняют не менее трех измерений кермы в воздухе и мощности кермы в воздухе. Вычисляют их средние арифметические значения по формуле (1).

Определяют доверительные границы основной относительной погрешности при доверительной вероятности 0,95 при измерениях кермы в воздухе и мощности кермы в воздухе по формуле (2).

Для вычисления абсолютных значений границ основной погрешности дозиметра Piranha при измерениях мощности кермы в воздухе следует умножить полученные значения δ_k на соответствующие эталонные значения мощности кермы в воздухе \dot{K}_o .

Примечание – Допускается проводить проверку в поверочных точках на краях диапазона измерений методом подобия как описано в п. 9.1.1.

Дозиметр Piranha с детектором Piranha Dose Probe считается прошедшим проверку с положительным результатом, если доверительные границы основной относительной погрешности при измерениях кермы в воздухе не превышают пределов допускаемой основной относительной погрешности $\pm 5\%$; доверительные границы основной погрешности при

измерениях мощности кермы в воздухе не превышают пределов допускаемой основной погрешности $\pm 5\%$ или ± 1 нГр/с (в зависимости от того, что больше).

9.2.2 Определение энергетической зависимости чувствительности

Проверку проводят на режимах рентгеновского излучения RQA3–RQA10 при напряжениях генерирования на рентгеновской трубке 50 кВ, 70 кВ, 90 кВ, 120 кВ и 150 кВ, относительно режима RQA5.

Примечание – При периодической поверке допускается проводить проверку в выборочных точках диапазона измерений, но не менее чем в трех точках из диапазона.

Поверку производят при значениях мощности кермы в воздухе от 0,1 до 10 мГр/с.

В каждой точке выполняют не менее трех измерений мощности кермы в воздухе и вычисляют их среднее арифметическое значение по формуле (1).

Для каждого режима рентгеновского излучения определяют коэффициент чувствительности по формуле (11).

Определяют энергетическую зависимость чувствительности по формуле (12).

Дозиметр Piranha с детектором Piranha Dose Probe считается прошедшим проверку с положительным результатом, если полученные значения энергетической зависимости чувствительности не превышают допустимых пределов $\pm 10\%$.

9.3 Определение метрологических характеристик при измерениях с детектором RTI T20 Dose Probe

При определении метрологических характеристик модификаций дозиметров Piranha, используемых с детектором RTI T20 Dose Probe, детектор размещают в поле излучения таким образом, чтобы центральная ось коллимированного пучка рентгеновского излучения проходила через центр чувствительной области детектора RTI T20 Dose Probe, отмеченный на его передней панели, а размер сечения пучка в плоскости, перпендикулярной оси пучка и проходящей через центр чувствительной области детектора, полностью перекрывал его чувствительную область. Центр чувствительной области детектора RTI T20 Dose Probe располагается на глубине 2 мм от края передней поверхности детектора и отмечен линией на боковой поверхности детектора.

9.3.1 Определение основной погрешности при измерениях кермы в воздухе и мощности кермы в воздухе

Проверку проводят на режиме рентгеновского излучения RQR5 при напряжении генерирования рентгеновской трубки с вольфрамовым анодом 70 кВ.

Измерения кермы в воздухе выполняют не менее чем в четырех точках из диапазона от 50 нГр до 5 Гр, измерения мощности кермы в воздухе выполняют не менее чем в четырех точках из диапазона от 50 нГр/с до 50 мГр/с.

В каждой точке выполняют не менее трех измерений кермы в воздухе и мощности кермы в воздухе. Вычисляют их средние арифметические значения по формуле (1).

Определяют доверительные границы основной относительной погрешности при доверительной вероятности 0,95 при измерениях кермы в воздухе и мощности кермы в воздухе по формуле (2).

Примечание – Допускается проводить проверку в поверочных точках на краях диапазона измерений методом подобия как описано в п. 9.1.1.

Дозиметр Piranha с детектором RTI T20 Dose Probe считается прошедшим проверку с положительным результатом, если доверительные границы основной относительной погрешности при измерениях кермы в воздухе не превышают пределов допускаемой основной относительной погрешности $\pm 5\%$; доверительные границы основной погрешности при измерениях мощности кермы в воздухе не превышают пределов допускаемой основной погрешности $\pm 3\%$.

9.3.2 Определение энергетической зависимости чувствительности

Проверку проводят на режимах рентгеновского излучения RQR3–RQR10 при напряжениях генерирования на рентгеновской трубке 50 кВ, 70 кВ, 90 кВ, 120 кВ и 150 кВ, относительно режима RQR5.

Примечание – При периодической поверке допускается проводить проверку в выборочных точках диапазона измерений, но не менее чем в трех точках из диапазона.

Поверку производят при значениях мощности кермы в воздухе от 1 до 10 мГр/с.

В каждой точке выполняют не менее трех измерений мощности кермы в воздухе и вычисляют их среднее арифметическое значение по формуле (1).

Для каждого режима рентгеновского излучения определяют коэффициент чувствительности по формуле (11).

Определяют энергетическую зависимость чувствительности по формуле (12).

Дозиметр Piranha с детектором RTI T20 Dose Probe считается прошедшим проверку с положительным результатом, если полученные значения энергетической зависимости чувствительности не превышают допустимых пределов $\pm 5\%$.

9.4 Определение метрологических характеристик при измерениях с детектором CT Dose Profiler

При определении метрологических характеристик модификаций дозиметров Piranha, используемых для контроля рентгеновских аппаратов для компьютерной томографии (далее – СТ), Piranha CT и других модификаций дозиметров Piranha, используемых с детектором CT Dose Profiler, детектор размещают таким образом, чтобы центральная ось коллимированного пучка рентгеновского излучения проходила через центр чувствительной области детектора, отмеченный риской на поверхности детектора. Центр чувствительной области детектора располагается на оси детектора. Ось детектора должна быть перпендикулярна оси пучка рентгеновского излучения.

9.4.1 Определение основной погрешности при измерениях мощности кермы в воздухе

Проверку проводят на режиме рентгеновского излучения RQR9 при напряжении генерирования рентгеновской трубки с вольфрамовым анодом 120 кВ.

Измерения мощности кермы в воздухе выполняют не менее чем в четырех точках из диапазона от 300 нГр/с до 100 мГр/с.

Примечание – Измерения проводятся в режиме Point dose.

В каждой точке выполняют не менее трех измерений мощности кермы в воздухе. Вычисляют их среднее арифметическое значение по формуле (1).

Определяют доверительные границы основной относительной погрешности при доверительной вероятности 0,95 при измерениях мощности кермы в воздухе по формуле (2).

Для вычисления абсолютных значений границ основной погрешности дозиметра Piranha при измерениях мощности кермы в воздухе следует умножить полученные значения δ_K на соответствующие эталонные значения мощности кермы в воздухе \dot{K}_0 .

Примечание – Допускается проводить проверку в поверочных точках на краях диапазона измерений методом подбора как описано в п. 9.1.1.

Дозиметр Piranha для СТ модификации Piranha CT и других модификаций с детектором CT Dose Profiler считается прошедшим проверку с положительным результатом, если доверительные границы основной погрешности при измерениях мощности кермы в воздухе не превышают пределов допускаемой основной погрешности $\pm 5\%$ или ± 10 нГр/с (в зависимости от того, что больше).

9.4.2 Определение энергетической зависимости чувствительности

Проверку проводят на режимах рентгеновского излучения RQR7–RQA10 при напряжениях генерирования на рентгеновской трубке 90 кВ, 100 кВ, 120 кВ и 150 кВ, относительно режима RQR9.

Примечание – При периодической поверке допускается проводить проверку в выборочных точках диапазона измерений, но не менее чем в трех точках из диапазона.

Поверку производят при значениях мощности кермы в воздухе от 1 до 10 мГр/с.

В каждой точке выполняют не менее трех измерений мощности кермы в воздухе и вычисляют их среднее арифметическое значение по формуле (1).

Для каждого режима рентгеновского излучения определяют коэффициент чувствительности по формуле (11).

Определяют энергетическую зависимость чувствительности по формуле (12).

Дозиметр Piranha для СТ модификации Piranha СТ и других модификаций с детектором СТ Dose Profiler считается прошедшим проверку с положительным результатом, если полученные значения энергетической зависимости чувствительности не превышают допустимых пределов $\pm 7\%$.

9.5 Определение метрологических характеристик при измерениях с ионизационными камерами RTI CT Ion Chamber 10 см и 30 см

При определении метрологических характеристик модификаций дозиметров Piranha, используемых для контроля рентгеновских аппаратов для компьютерной томографии (далее – СТ), Piranha СТ и других модификаций дозиметров Piranha, используемых с ионизационными камерами RTI CT Ion Chamber 10 см и 30 см, камеру размещают таким образом, чтобы центральная ось коллимированного пучка рентгеновского излучения проходила через центр измерительного объема камеры, находящийся на глубине 6 мм от ее боковой поверхности. Границы и центр измерительного объема отмечены белыми линиями на поверхности камеры. Размер сечения пучка излучения в плоскости, перпендикулярной оси пучка и проходящей через центр измерительного объема камеры, не должен превышать номинальную длину измерительного объема, 85 мм для RTI CT Ion Chamber 10 см и 280 мм для RTI CT Ion Chamber 30 см.

Примечание – Эталонное значение произведения мощности кермы в воздухе на длину определяют методом косвенных измерений. Метод косвенных измерений произведения мощности кермы в воздухе на длину основан на измерении мощности кермы в воздухе в опорной точке поля рентгеновского излучения, измерении линейных размеров поля рентгеновского излучения в плоскости, проходящей через эту опорную точку и перпендикулярной оси пучка рентгеновского излучения, и последующем расчете произведения мощности кермы в воздухе на длину из результатов измерений указанных величин.

9.5.1 Определение основной погрешности при измерениях произведения кермы в воздухе на длину

Поверку проводят на режиме рентгеновского излучения RQT9 при напряжении генерирования рентгеновской трубки с вольфрамовым анодом 120 кВ.

Измерения произведения кермы в воздухе на длину выполняют не менее чем в четырех точках из диапазона от 0,5 мГр·см до 100 Гр·см.

В каждой точке выполняют не менее трех измерений произведения кермы в воздухе на длину. Вычисляют их среднее арифметическое значение по формуле (1).

Определяют доверительные границы основной относительной погрешности при доверительной вероятности 0,95 при измерениях мощности кермы в воздухе по формуле (2).

Для вычисления абсолютных значений границ основной погрешности дозиметра Piranha при измерениях произведения кермы в воздухе на длину следует умножить полученные значения доверительных границ основной относительной погрешности на соответствующие эталонные значения произведения кермы в воздухе на длину.

Примечание – Допускается проводить проверку в поверочных точках на краях диапазона измерений методом подобия как описано в п. 9.1.1.

Дозиметр Piranha для СТ модификации Piranha СТ и других модификаций с ионизационными камерами RTI CT Ion Chamber 10 см и 30 см считается прошедшим проверку с положительным результатом, если доверительные границы основной погрешности при измерениях произведения кермы в воздухе на длину не превышают пределов допускаемой основной погрешности $\pm 5\%$ или $\pm 0,03$ мГр·см (в зависимости от того, что больше).

9.5.2 Определение энергетической зависимости чувствительности

Проверку проводят на режимах рентгеновского излучения RQT8–RQT10 при напряжениях генерирования на рентгеновской трубке 100 кВ, 120 кВ и 150 кВ, относительно режима RQT9.

Поверку производят при значениях произведения кермы в воздухе на длину от 0,1 до 1 Гр·см.

В каждой точке выполняют не менее трех измерений произведения кермы в воздухе на длину и вычисляют их среднее арифметическое значение по формуле (1).

Для каждого режима рентгеновского излучения определяют коэффициент чувствительности по формуле (11).

Определяют энергетическую зависимость чувствительности по формуле (12).

Дозиметр Piranha для СТ модификации Piranha CT и других модификаций с ионизационными камерами RTI CT Ion Chamber 10 см и 30 см считается прошедшим проверку с положительным результатом, если полученные значения энергетической зависимости чувствительности не превышают допустимых пределов $\pm 1\%$.

9.6 Определение метрологических характеристик при измерениях с ионизационной камерой Magna 1cc A600 Ion Chamber

При определении метрологических характеристик модификаций дозиметров Piranha, используемых с ионизационной камерой Magna 1cc A600 Ion Chamber, камеру размещают таким образом, чтобы центральная ось коллимированного пучка рентгеновского излучения проходила через центр ее измерительного объема. Центр измерительного объема находится на глубине 4 мм от передней поверхности камеры, что обозначено линией на внешнем кольце. Размер сечения пучка излучения в плоскости, перпендикулярной оси пучка и проходящей через центр измерительного объема камеры, должен полностью перекрывать измерительный объем камеры.

9.6.1 Определение основной погрешности при измерениях мощности кермы в воздухе

Проверку проводят на режиме рентгеновского излучения RQR2-M при напряжении генерирования рентгеновской трубки с молибденовым анодом 28 кВ.

Измерения мощности кермы в воздухе выполняют не менее чем в четырех точках из диапазона от 0,5 до 100 мГр/с.

В каждой точке выполняют не менее трех измерений мощности кермы в воздухе. Вычисляют их среднее арифметическое значение по формуле (1).

Определяют доверительные границы основной относительной погрешности при доверительной вероятности 0,95 при измерениях мощности кермы в воздухе по формуле (2).

Для вычисления абсолютных значений границ основной погрешности дозиметра Piranha при измерениях мощности кермы в воздухе следует умножить полученные значения δ_K на соответствующие эталонные значения мощности кермы в воздухе \dot{K}_0 .

Примечание – Допускается проводить поверку в поверочных точках на краях диапазона измерений методом подобия как описано в п. 9.1.1.

Дозиметр Piranha с ионизационной камерой Magna 1cc A600 Ion Chamber считается прошедшим проверку с положительным результатом, если доверительные границы основной погрешности при измерениях мощности кермы в воздухе не превышают пределов допускаемой основной погрешности $\pm 5\%$ или $\pm 0,025$ мГр/с (в зависимости от того, что больше).

9.6.2 Определение энергетической зависимости чувствительности

Проверку проводят на режимах рентгеновского излучения RQR-M1–RQR-M4 при напряжениях генерирования на рентгеновской трубке 25 кВ, 28 кВ, 30 кВ и 35 кВ, относительно режима RQR-M2.

Поверку производят при значениях мощности кермы в воздухе от 1 до 10 мГр/с.

В каждой точке выполняют не менее трех измерений мощности кермы в воздухе и вычисляют их среднее арифметическое значение по формуле (1).

Для каждого режима рентгеновского излучения определяют коэффициент чувствительности по формуле (11).

Определяют энергетическую зависимость чувствительности по формуле (12).

Дозиметр Piranha с ионизационной камерой Magna 1cc A600 Ion Chamber считается прошедшим проверку с положительным результатом, если полученные значения энергетической зависимости чувствительности не превышают допустимых пределов $\pm 2\%$.

9.7 Определение погрешности при измерениях анодного тока с детекторами Piranha MAS-1B и MAS-2

При использовании дозиметра Piranha с внешним детектором Piranha MAS-1B детектор с помощью входящих в его комплект проводников подключают к выходным клеммам источника постоянного тока, соблюдая полярность. В разрыв цепи между источником постоянного тока и дозиметром включают эталонный амперметр.

При использовании дозиметра Piranha с внешним детектором Piranha MAS-2 подключают токовые клещи детектора к измерительному проводнику, соединенному с источником постоянного тока и эталонным амперметром, с учетом направления тока в проводнике.

Измерения силы тока с детектором Piranha MAS-1B выполняют не менее чем в пяти точках из диапазона от 0,5 до 2000 мА.

Измерения силы тока с детектором Piranha MAS-2 выполняют не менее чем в пяти точках из диапазона от 10 до 2000 мА.

В каждой точке выполняют не менее трех измерений силы тока и вычисляют их среднее арифметическое значение \bar{I} , мА, по формуле, аналогичной (1).

Определяют погрешность дозиметра Piranha при измерениях силы тока:

$$\Delta_I = \bar{I} - I_o, \text{ мА} - \text{абсолютная}, \quad (13)$$

$$\Delta_I = \frac{\bar{I} - I_o}{I_o} \cdot 100, \% - \text{относительная}, \quad (14)$$

где I_o – эталонное значение силы тока, измеренное амперметром, мА.

Дозиметр Piranha с детектором Piranha MAS-1B считается прошедшим проверку с положительным результатом, если погрешность при измерениях силы тока не превышает пределов допускаемой погрешности измерений анодного тока $\pm 1\%$ или $\pm 0,01$ мА (в зависимости от того, что больше).

Дозиметр Piranha с детектором Piranha MAS-2 считается прошедшим проверку с положительным результатом, если погрешность при измерениях силы тока не превышает пределов допускаемой погрешности измерений анодного тока $\pm 5\%$ или ± 2 мА (в зависимости от того, что больше).

9.8 Дозиметр Piranha заявленной модификации с детекторами, входящими в его состав, признается соответствующим метрологическим требованиям, если операции по п.п. 9.1–9.7 выполнены с положительными результатами для всех детекторов из состава дозиметра Piranha и измеряемых величин.

Дозиметр Piranha заявленной модификации с детекторами, входящими в его состав, признается не соответствующим метрологическим требованиям, если хотя бы одна из операций по п.п. 9.1–9.7 выполнена с отрицательным результатом для детекторов из состава дозиметра Piranha и измеряемых величин.

10 Оформление результатов поверки

10.1 Все результаты заносятся в протокол поверки.

10.2 Сведения о результатах поверки средств измерений в целях подтверждения поверки должны быть переданы в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений (ФИФ ОЕИ) в установленном порядке.

10.3 По письменному заявлению владельца средства измерений или лица, предоставившего средство измерений на поверку, на средство измерений, прошедшее поверку, выдается свидетельство о поверке установленной формы.

10.4 Знак поверки наносится на свидетельство о поверке.

10.5 Средство измерений, не прошедшее поверку, к обращению не допускается.

По письменному заявлению владельца средства измерений или лица, предоставившего средство измерений на поверку, на средство измерений выдается извещение о непригодности установленной формы с указанием причин несоответствия.

Приложение 1

Характеристики рекомендуемых режимов рентгеновского излучения при поверке дозиметров Piranha

Таблица 1 – Характеристики режимов рентгеновского излучения серий RQR и RQA

Режим ¹⁾	Напряжение генерирования, кВ	Толщина дополнительного фильтра ²⁾ , мм Al	Номинальный СПО, мм Al
RQR 2	40	2,49	1,40
RQR 3	50	2,67	1,83
RQR 5	70	3,10	2,64
RQR 7	90	3,47	3,53
RQR 8	100	3,69	4,05
RQR 9	120	3,96	5,12
RQR 10	150	4,63	6,67
RQA 3	50	12,5	3,75
RQA 5	70	23,7	6,87
RQA 7	90	32,5	9,32
RQA 9	120	42,5	11,9
RQA 10	150	46,9	13,8

¹⁾ Режимы серий RQR и RQA реализуются с помощью рентгеновской трубки с вольфрамовым анодом.

²⁾ Чистота материалов, используемых для дополнительной фильтрации должна быть не менее 99,9 %.

Таблица 2 – Характеристики режимов рентгеновского излучения серии RQT

Режим ¹⁾	Напряжение генерирования, кВ	Толщина дополнительного фильтра ²⁾		Номинальный СПО, мм Al
		мм Al	мм Cu	
RQT 8	100	3,49	0,19	6,82
RQT 9	120	3,67	0,23	8,45
RQT 10	150	4,49	0,29	10,3

¹⁾ Режимы серии RQT реализуются с помощью рентгеновской трубки с вольфрамовым анодом.

²⁾ Чистота материалов, используемых для дополнительной фильтрации должна быть не менее 99,9 %.

Таблица 3 – Характеристики режимов рентгеновского излучения серий RQR-M и RQA-M

Режим ¹⁾	Напряжение генерирования, кВ	Толщина дополнительного фильтра ²⁾		Номинальный СПО, мм Al
		мм Mo	мм Al	
RQR-M1	25	0,031	-	0,30
RQR-M2	28	0,031	-	0,34
RQR-M3	30	0,031	-	0,35
RQR-M4	35	0,031	-	0,39
RQA-M1	25	0,033	2,065	0,57
RQA-M2	28	0,033	2,065	0,61
RQA-M3	30	0,033	2,065	0,63
RQA-M4	35	0,033	2,065	0,72

¹⁾ Режимы серий RQR-M и RQA-M реализуются с помощью рентгеновской трубки с молибденовым анодом.

²⁾ Чистота материалов, используемых для дополнительной фильтрации должна быть не менее 99,9 %.