

УТВЕРЖДЕНА
приказом Федерального агентства
по техническому регулированию
и метрологии
от «26» сентября 2024 г. № 2273

**ГОСУДАРСТВЕННАЯ ПОВЕРОЧНАЯ СХЕМА ДЛЯ СРЕДСТВ
ИЗМЕРЕНИЙ ПОГЛОЩЕННОЙ ДОЗЫ И МОЩНОСТИ
ПОГЛОЩЕННОЙ ДОЗЫ ФОТОННОГО, ЭЛЕКТРОННОГО,
ПРОТОННОГО ИЗЛУЧЕНИЙ И В ПУЧКАХ ИОНОВ УГЛЕРОДА,
АМБИЕНТНОГО, НАПРАВЛЕННОГО И ИНДИВИДУАЛЬНОГО
ЭКВИВАЛЕНТОВ ДОЗЫ, МОЩНОСТЕЙ АМБИЕНТНОГО,
НАПРАВЛЕННОГО И ИНДИВИДУАЛЬНОГО ЭКВИВАЛЕНТОВ ДОЗЫ
ФОТОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ, КОЛИЧЕСТВА, ФЛЮЕНСА,
ПЛОТНОСТИ ПОТОКА И ЭНЕРГИИ ЧАСТИЦ В ПУЧКАХ ПРОТОНОВ
И ТЯЖЕЛЫХ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ**

1 Область применения

Настоящая Государственная поверочная схема распространяется на средства измерений поглощенной дозы и мощности поглощенной дозы фотонного, электронного, протонного излучений и в пучках ионов углерода, амбиентного, направленного и индивидуального эквивалентов дозы, мощностей амбиентного, направленного и индивидуального эквивалентов дозы фотонного излучения, количества, флюенса, плотности потока и энергии частиц в пучках протонов и тяжелых заряженных частиц и устанавливает порядок передачи единиц поглощенной дозы – грея (Гр), мощности поглощенной дозы – грея в секунду ($\text{Гр} \cdot \text{с}^{-1}$) фотонного, электронного, протонного излучения и в пучках ионов углерода, эквивалента дозы (амбиентного, индивидуального и направленного) – зиверта (Зв), и мощности эквивалента дозы (амбиентного, индивидуального и направленного) – зиверта в секунду ($\text{Зв} \cdot \text{с}^{-1}$) фотонного излучения, количества частиц, флюенса (см^{-2}), плотности потока ($\text{см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$) и энергии частиц (МэВ) от 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 при помощи вторичных и рабочих эталонов средствам измерений с указанием погрешностей и методов передачи единиц величин.

Графическая часть Государственной поверочной схемы для средств измерений поглощенной дозы и мощности поглощенной дозы фотонного, электронного, протонного излучений и в пучках ионов углерода, амбиентного, направленного и индивидуального эквивалентов дозы, мощностей амбиентного, направленного и индивидуального эквивалентов дозы фотонного излучения, количества, флюенса, плотности потока и энергии частиц в пучках протонов и тяжелых заряженных частиц представлена в приложении А.

2 Сокращения и обозначения

2.1 Сокращения:

ГПЭ – государственный первичный эталон;

МПД – мощность поглощенной дозы;

НСП – неисключенная систематическая погрешность;

ПД – поглощенная доза;

СКО – среднее квадратическое отклонение.

2.2 Обозначения:

S_0 – относительное среднее квадратическое отклонение;

Θ_0 – относительная неисключенная систематическая погрешность;

S_Σ – относительное суммарное СКО результатов измерений;

u_A – стандартная неопределенность, оцененная по типу А;

u_B – стандартная неопределенность, оцененная по типу В;

u_c – суммарная стандартная неопределенность;

U – расширенная неопределенность при коэффициенте охвата $K = 2$;

δ_o – допускаемые значения доверительных границ относительной погрешности рабочих эталонов;

Δ_o – пределы допускаемых относительных погрешностей средств измерений.

3 Государственный первичный эталон

3.1 Государственный первичный эталон предназначен для воспроизведения и хранения 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.

3.2 В основу измерений поглощенной дозы, мощности поглощенной дозы фотонного, электронного, протонного излучений и в пучках ионов углерода, выполняемых в Российской Федерации, должны быть положены единицы, воспроизводимые указанным государственным первичным эталоном.

3.3 Государственный первичный эталон состоит из комплекса первичных измерительных преобразователей, измерительно-информационных технических средств:

дифференциальный калориметр интегрального теплового потока для фотонного излучения с энергией 1,25 МэВ (гамма-излучения ^{60}Co);

адиабатический калориметр для фотонного излучения в диапазоне энергий от 50 кэВ до 50 МэВ и электронного излучения с энергией от 5 МэВ до 50 МэВ;

адиабатический калориметр для фотонного излучения в диапазоне энергий от 15 кэВ до 50 кэВ;

графитовый фантом для размещения наперстковых ионизационных камер;

графитовый фантом для размещения плоскопараллельных ионизационных камер на поверхности фантома;

водный фантом с глубиной размещения наперстковых ионизационных камер 5 г/см² (глубина определяется как произведение длины на плотность);

водный фантом с глубиной размещения наперстковых ионизационных камер 2 г/см²;

твердотельный фантом для размещения плоскопараллельных ионизационных камер на поверхности фантома;

компаратор: транспортабельный калориметр, универсальный дозиметр с ионизационными камерами;

плоскопараллельная ионизационная камера-монитор;

экстраполяционная графитовая ионизационная камера в графитовом фантоме;

адиабатический калориметр для воспроизведения единиц поглощенной дозы и мощности поглощенной дозы протонного излучения в диапазоне энергий от 50 МэВ до 300 МэВ;

3D- водный фантом стационарный;

поглотитель переменной толщины;

цилиндр Фарадея;

плоскопараллельная ионизационная камера;

дозиметр с ионизационными камерами;

комплекс эталонной аппаратуры для измерения параметров пучков протонов и тяжелых заряженных частиц для целей лучевой терапии и испытаний на стойкость к воздействию тяжелых заряженных частиц;

калориметр полного поглощения;

система сбора и обработки данных;

мера сопротивления;

нановольтметр;

измеритель малых токов;

комплекс управления калориметрическими измерениями.

3.4 Диапазоны значений поглощенной дозы и мощности поглощенной дозы фотонного, электронного, протонного излучений и в пучках тяжелых заряженных частиц, в которых воспроизводится единица, составляют соответственно от 1 до 10^3 Гр и от 10^{-3} до 10^2 Гр/с.

Диапазоны энергий излучений, в которых эталон воспроизводит единицы поглощенной дозы и мощности поглощенной дозы, составляют:

фотонного излучения - от 15 кэВ до 50 МэВ;

электронного излучения - от 5 до 50 МэВ;

пучков протонов - от 30 до 1000 МэВ;

ионов углерода – от 50 до 1000 МэВ;

Государственный первичный эталон обеспечивает воспроизведение единиц поглощенной дозы и мощности поглощенной дозы со следующими составляющими погрешности:

для фотонного и электронного излучений:

среднее квадратическое отклонение результата измерений не превышает 0,20 % при 20 независимых измерениях;

неисключенная систематическая погрешность не превышает:

0,35 % в энергетическом диапазоне фотонного излучения от 50 кэВ до 50 МэВ и электронного излучения в энергетическом диапазоне от 5 до 50 МэВ;

0,63 % в энергетическом диапазоне фотонного излучения от 15 до 50 кэВ.

для пучков протонов и ионов углерода:

среднее квадратическое отклонение результата измерений не превышает 0,40 % при 20 независимых измерениях;

неисключенная систематическая погрешность не превышает:

0,70 % для пучков протонов в энергетическом диапазоне от 30 МэВ до 250 МэВ;

0,87 % для пучков протонов в энергетическом диапазоне от 250 МэВ до 1000 МэВ и ионов углерода в энергетическом диапазоне от 50 МэВ до 1000 МэВ.

Государственный первичный эталон обеспечивает воспроизведение единиц поглощенной дозы и мощности поглощенной дозы со следующими составляющими неопределенности результатов измерений:

для фотонного излучения в диапазоне энергий от 50 кэВ до 50 МэВ и электронного излучения с энергией от 5 до 50 МэВ:

стандартная неопределенность, оцененная по типу А 0,20 %;

стандартная неопределенность, оцененная по типу В 0,15 %;
 суммарная стандартная неопределенность 0,25 %;
 расширенная неопределенность 0,50 % при коэффициенте охвата $K = 2$.
 для фотонного излучения в диапазоне энергий от 15 до 50 кэВ:

стандартная неопределенность, оцененная по типу А 0,20 %;
 стандартная неопределенность, оцененная по типу В 0,26 %;
 суммарная стандартная неопределенность 0,33 %;
 расширенная неопределенность 0,66 % при коэффициенте охвата $K = 2$.
 для пучков протонов в энергетическом диапазоне от 30 МэВ до 250 МэВ:

стандартная неопределенность, оцененная по типу А 0,40 %;
 стандартная неопределенность, оцененная по типу В 0,29 %;
 суммарная стандартная неопределенность 0,50 %;

расширенная неопределенность 1,0 % при коэффициенте охвата $K = 2$.

для пучков протонов в энергетическом диапазоне от 250 МэВ до 1000 МэВ
 и ионов углерода в энергетическом диапазоне от 50 МэВ до 1000 МэВ:

стандартная неопределенность, оцененная по типу А 0,40 %;
 стандартная неопределенность, оцененная по типу В 0,36 %;
 суммарная стандартная неопределенность 0,54 %;

расширенная неопределенность 1,1 % при коэффициенте охвата $K = 2$.

Диапазон значений количества частиц в пучках протонов и тяжелых заряженных частиц, в которых воспроизводится единица, составляет от 10^7 до 10^{13} .

Государственный первичный эталон обеспечивает воспроизведение единицы со средним квадратическим отклонением результата измерений, не превышает 0,69 % при 20 независимых измерениях.

Неисключенная систематическая погрешность не превышает 2,0 %.

Стандартная неопределенность:

оцененная по типу А 0,69 %;

оцененная по типу В 0,80 %.

Суммарная стандартная неопределенность 1,1 %.

Расширенная неопределенность 2,2 % при коэффициенте охвата $K = 2$.

Диапазон значений энергии частиц в пучках протонов и тяжелых заряженных частиц, в которых воспроизводится единица, составляет от 30 до 1000 МэВ.

Государственный первичный эталон обеспечивает воспроизведение единицы со средним квадратическим отклонением результата измерений, не превышающим 0,80 % при 20 независимых измерениях.

Неисключенная систематическая погрешность не превышает 2,1 %.

Стандартная неопределенность:

оцененная по типу А 0,80 %;

оцененная по типу В 0,84 %.

Суммарная стандартная неопределенность 1,2 %.

Расширенная неопределенность 2,4 % при коэффициенте охвата $K = 2$.

Диапазон значений флюенса частиц в пучках протонов и тяжелых заряженных частиц, в которых воспроизводится единица, составляет от 10^7 до 10^{13} см⁻².

Государственный первичный эталон обеспечивает воспроизведение единицы со средним квадратическим отклонением результата измерений, не превышающим 0,69 % при 20 независимых измерениях.

Неисключенная систематическая погрешность не превышает 2,1 %.

Стандартная неопределенность:

оцененная по типу А 0,69 %;

оцененная по типу В 0,85 %.

Суммарная стандартная неопределенность 1,1 %.

Расширенная неопределенность 2,2 % при коэффициенте охвата $K = 2$.

Диапазон значений плотности потока частиц в пучках протонов и тяжелых заряженных частиц, в которых воспроизводится единица, составляет от 10^7 до 10^{13} см⁻²·с⁻¹.

Государственный первичный эталон обеспечивает воспроизведение единицы со средним квадратическим отклонением результата измерений, не превышающим 0,80 % при 20 независимых измерениях.

Неисключенная систематическая погрешность не превышает 2,2 %.

Стандартная неопределенность:

оцененная по типу А 0,80 %;

оцененная по типу В 0,90 %.

Суммарная стандартная неопределенность 1,2 %.

Расширенная неопределенность 2,4 % при коэффициенте охвата $K = 2$.

3.5 Государственный первичный эталон применяют для передачи единиц: поглощенной дозы и мощности поглощенной дозы фотонного, электронного, протонного излучений и в пучках тяжелых заряженных частиц вторичным эталонам, рабочим эталонам и средствам измерений (дозиметрам повышенной точности) сличения при помощи компаратора, методом прямых измерений;

амбиентного, индивидуального и направленного эквивалентов дозы и их мощностей методом косвенных измерений с использованием дозиметров с ионизационными камерами и дозиметров со сцинтилляционными датчиками, входящих в состав вторичного эталона;

количества частиц в пучках протонов и тяжелых заряженных частиц методом сличения при помощи компаратора;

энергий частиц в пучках протонов и тяжелых заряженных частиц помощи калориметра полного поглощения, входящего в состав ГЭТ, с понижением точности измерений;

флюенса частиц в пучках протонов и тяжелых заряженных частиц методом сличения при помощи компаратора;

плотности потока частиц в пучках протонов и тяжелых заряженных частиц методом сличения при помощи компаратора.

3.6 Соотношение показателей точности при передаче единиц дозиметрических величин вторичным, рабочим эталонам и средствам измерений должно быть не более 1/2.

4 Вторичные эталоны

4.1 В качестве вторичных эталонов единиц поглощенной дозы и мощности поглощенной дозы фотонного и (или) электронного излучения (в воде, тканеэквивалентном материале, графите, воздухе, кремнии) применяют:

эталонные дозиметрические установки фотонного излучения (с радионуклидными источниками, с источниками рентгеновского и тормозного излучения) с ионизационными камерами и фантомами (водными или твердотельными) 30 см х 30 см х 30 см, сцинтилляционными детекторами в диапазоне измерений поглощенной дозы в воде, дозиметры с ионизационными камерами и сцинтилляционными детекторами в диапазоне измерений поглощенной дозы в воде от $1 \cdot 10^{-6}$ до $1 \cdot 10^7$ Гр и мощности поглощенной дозы в воде от $2,7 \cdot 10^{-10}$ до $1 \cdot 10^3$ Гр/с с энергией фотонов от 15 кэВ до 50 МэВ;

эталонные дозиметрические установки электронного излучения (с ускорителями электронов) с ионизационными камерами и фантомами (водными или твердотельными) 30 см х 30 см х 30 см, сцинтилляционными детекторами в диапазоне измерений поглощенной дозы в воде, дозиметры с ионизационными камерами и сцинтилляционными детекторами в диапазоне измерений поглощенной дозы в воде от $2 \cdot 10^{-5}$ до $1 \cdot 10^7$ Гр и мощности поглощенной дозы в воде от $1 \cdot 10^{-5}$ до $1 \cdot 10^3$ Гр/с с энергией электронов от 5 до 50 МэВ;

Суммарные СКО S_{Σ} , составляют от 0,50 до 1,5 %.

4.2 В качестве вторичных эталонов эквивалентов дозы (амбиентного, индивидуального и направленного) и мощности эквивалентов дозы (амбиентного, индивидуального и направленного) фотонного излучения используют: эталонные дозиметрические установки с радионуклидными источниками с типовыми коллиматорами, эталонные дозиметрические установки с источниками рентгеновского, тормозного излучений с ионизационными камерами с водными или твердотельными фантомами в соответствии со стандартом ISO 4037-3 и сцинтилляционными детекторами в диапазоне от $1 \cdot 10^{-6}$ до $1 \cdot 10^2$ Зв; от $2,7 \cdot 10^{-10}$ до $1 \cdot 10^3$ Зв/с в диапазоне энергий фотонов от 0,015 до 50 МэВ, дозиметры с ионизационными камерами и сцинтилляционными детекторами в диапазоне измерений от $1 \cdot 10^{-6}$ до $1 \cdot 10^2$ Зв; от $2,7 \cdot 10^{-10}$ до $1 \cdot 10^3$ Зв/с с энергией фотонов от 0,015 до 50 МэВ.

Суммарные СКО S_{Σ} , составляют от 1,0 до 3 %.

4.3 В качестве вторичных эталонов единиц поглощенной дозы и мощности поглощенной дозы протонного излучения и ионов углерода в воде, кремнии используют:

дозиметры с ионизационными камерами в диапазоне измерений от $2 \cdot 10^{-5}$ до $1 \cdot 10^7$ Гр; от $2 \cdot 10^{-6}$ до $1 \cdot 10^3$ Гр/с с энергией протонов и ионов углерода в воде от 30 до 3000 МэВ.

Суммарные СКО S_{Σ} , составляют от 1,0 до 2,0 %.

4.4 Вторичные эталоны применяют для передачи соответствующих единиц величин рабочим эталонам 1-го разряда и средствам измерений (дозиметрам повышенной точности) методом прямых измерений, сличением при помощи компаратора (калориметров, ионизационных камер, химических или твердотельных дозиметров), непосредственным сличением или методом косвенных измерений¹.

4.5 Соотношение показателей точности при передаче единиц дозиметрических величин средствам измерений (дозиметрам повышенной точности) должно быть не более 1/2 (для амбиентного, индивидуального и направленного эквивалентов доз и их мощностей не более 0,9).

5 Рабочие эталоны

5.1 Рабочие эталоны 1-го разряда

5.1.1 В качестве рабочих эталонов 1-го разряда применяют эталонные дозиметрические установки с радионуклидными источниками с типовыми коллиматорами, эталонные самозащищенные дозиметрические установки с радионуклидными источниками, имеющие защиту от фонового излучения, эталонные дозиметрические установки с источниками рентгеновского, тормозного и электронного излучений, с водными или твердотельными фантомами стандартных размеров в соответствии со стандартом ISO 4037-3, дозиметры с ионизационными камерами и сцинтилляционными блоками детектирования, калориметры, термолюминесцентные дозиметры, химические дозиметры в диапазонах измерений: поглощенной дозы (в воде, тканеэквивалентном материале, графите, воздухе) от $1 \cdot 10^{-6}$ до $1 \cdot 10^7$ Гр; мощности поглощенной дозы от $2,7 \cdot 10^{-11}$ до $1 \cdot 10^5$ Гр/с; произведения поглощенной дозы в воздухе на площадь от $8 \cdot 10^{-8}$ до $1 \cdot 10^3$ Гр·м², произведения мощности поглощенной дозы в воздухе на площадь от $1 \cdot 10^{-8}$ до $6 \cdot 10^2$ (Гр/с)·м², произведения поглощенной дозы в воздухе на длину от $1 \cdot 10^{-5}$ до 500 Гр·см, произведения мощности поглощенной дозы в воздухе на длину от $3 \cdot 10^{-6}$ до 20 (Гр/с)·см, эквивалента дозы (амбиентного, индивидуального, направленного) от $1 \cdot 10^{-7}$ до $1 \cdot 10^2$ Зв; мощности эквивалента дозы (амбиентного, индивидуального, направленного) от $2,7 \cdot 10^{-11}$ до $1 \cdot 10^3$ Зв/с в диапазоне энергий фотонного излучения от 15 кэВ до 50 МэВ, в диапазоне энергий электронного излучения от 5 до 50 МэВ и в диапазоне энергий протонного излучения и ионов углерода от 30 до 1000 МэВ, эталонные приборы с преобразователями типа ЦФ, сцинтилляционными и полупроводниковыми детекторами, ионизационными

¹ Метод косвенных измерений операционных величин (амбиентного, индивидуального, направленного эквивалентов доз) основан на прямом измерении поглощенной дозы в воде (в точке минимального объема водной среды, расположенного в воздухе и обеспечивающего электронное равновесие заряженных частиц (РЗЧ)) и использовании конверсионных коэффициентов перехода от поглощенной дозы к операционным величинам, определение которых, основывается на расчете значения поглощенной дозы в воде в условиях РЗЧ на единичный флюенс фотонов данной энергии с учетом массовых коэффициентов поглощения для данной энергии с последующим переходом к операционным величинам с учетом значений эквивалентов дозы на единичный флюенс фотонов, приведенных в нормативных документах.

камерами в диапазоне количества протонов и тяжелых заряженных частиц от 10^2 до 10^{13} , эталонные приборы с время-пролетными детекторами, с преобразователями типа ЦФ и ионизационными камерами в диапазоне энергий протонов и тяжелых заряженных частиц от 10 до 10000 МэВ, эталонные приборы с преобразователями типа ЦФ, сцинтилляционными и полупроводниковыми детекторами, ионизационными камерами, диапазон измерений флюенса протонов и тяжелых заряженных частиц от 10^2 до 10^{13} см⁻², эталонные приборы с время-пролетными детекторами, с преобразователями типа ЦФ и ионизационными камерами, диапазон плотности потока частиц протонов и тяжелых заряженных частиц от $10^7 - 10^{13}$ см⁻²·с⁻¹.

5.1.2 Доверительные границы относительных погрешностей δ_0 рабочих эталонов 1-го разряда при доверительной вероятности 0,95 составляют для средств измерений поглощенной дозы от 2,0 до 5 %, для средств измерений произведения поглощенной дозы в воздухе на площадь и длину и произведения мощности поглощенной дозы в воздухе на площадь и длину от 4 до 6 %, для средств измерений эквивалента дозы (амбиентного, индивидуального, направленного) от 4 до 7 %, для средств измерений количества, флюенса и плотности потока и энергии частиц в пучках протонов и тяжелых заряженных частиц от 1,8 до 3,5 %.

5.1.3 Рабочие эталоны 1-го разряда применяют для передачи единиц величин рабочим эталонам 2-го разряда и средствам измерений методом прямых измерений, сличением при помощи компаратора (калориметров, ионизационных камер, химических и твердотельных дозиметров), непосредственным сличением.

5.1.4 Соотношение показателей точности при передаче единиц рабочим эталонам 2-го разряда и средствам измерений должно быть не более 1/2 (для ambiентного, индивидуального и направленного эквивалентов доз и их мощностей не более 0,9).

5.2 Рабочие эталоны 2-го разряда

5.2.1 В качестве рабочих эталонов 2-го разряда применяют эталонные дозиметрические установки с радионуклидными источниками с типовыми коллиматорами, эталонные самозащищенные дозиметрические установки с радионуклидными источниками, имеющие защиту от фонового излучения, эталонные дозиметрические установки с источниками рентгеновского, тормозного и электронного излучений с водными или твердотельными фантомами стандартных размеров в соответствии со стандартом ISO 4037-3, дозиметры с ионизационными камерами и сцинтилляционными блоками детектирования, термолюминесцентные дозиметры, химические дозиметры в диапазоне измерений: поглощенной дозы (в воде, тканеэквивалентном материале, графите, воздухе) от $1 \cdot 10^{-6}$ до $1 \cdot 10^7$ Гр; мощности поглощенной дозы от $2,7 \cdot 10^{-11}$ до $1 \cdot 10^5$ Гр/с; эквивалента дозы (амбиентного, индивидуального, направленного) от $1 \cdot 10^{-7}$ до $1 \cdot 10^2$ Зв; мощности эквивалента дозы (амбиентного, индивидуального, направленного) от $2,7 \cdot 10^{-11}$ до $1,0 \cdot 10^3$ Зв/с в диапазоне энергий фотонного излучения от 15 кэВ до 50 МэВ и в диапазоне энергий электронного излучения от 5 до 50 МэВ; произведения поглощенной дозы в воздухе на площадь от $8 \cdot 10^{-8}$ до $1 \cdot 10^3$ Гр·м²; произведения мощности поглощенной дозы

в воздухе на площадь от $1 \cdot 10^{-8}$ до $6 \cdot 10^2$ (Гр/с)·м², произведения поглощенной дозы в воздухе на длину от $1 \cdot 10^{-5}$ до $5 \cdot 10^2$ Гр·см, произведения мощности поглощенной дозы в воздухе на длину от $3 \cdot 10^{-6}$ до 20 (Гр/с)·см.

5.2.2 Доверительные границы относительных погрешностей рабочих эталонов 2-го разряда при доверительной вероятности 0,95 составляют от 5 до 10 % для средств измерений поглощенной дозы; от 8 до 12 % для средств измерений эквивалента дозы (амбиентного, индивидуального, направленного); от 7 до 10 % для средств измерений произведения поглощенной дозы в воздухе на площадь и длину, произведения мощности поглощенной дозы в воздухе на площадь и длину.

5.2.3 Рабочие эталоны 2-го разряда применяют для поверки средств измерений поглощенной дозы, ambiентного эквивалента дозы, индивидуального эквивалента дозы, направленного эквивалента дозы и их мощностей методом прямых измерений, непосредственным сличением.

5.2.4 Соотношение показателей точности при передаче единиц дозиметрических величин средствам измерений должно быть не более 1/2 (для ambiентного, индивидуального и направленного эквивалентов доз и их мощностей не более 0,9).

6 Средства измерений

6.1 В качестве средств измерений поглощенной дозы и мощности поглощенной дозы применяют дозиметры (клинические, для техники безопасности, аварийного и технологического назначения), основанные на калориметрическом, ионизационном, сцинтилляционном, термолюминесцентном, радиофотолюминесцентном, химическом методах, и установки дозиметрические с пределами измерений: поглощенной дозы (в воде, тканеэквивалентном материале, графите, воздухе) от $1 \cdot 10^{-6}$ до $1 \cdot 10^7$ Гр; мощности поглощенной дозы от $2,7 \cdot 10^{-11}$ до $1 \cdot 10^5$ Гр/с; произведения поглощенной дозы в воздухе на площадь от $8 \cdot 10^{-8}$ до $1 \cdot 10^3$ Гр·м², произведения мощности поглощенной дозы в воздухе на площадь от $6 \cdot 10^{-7}$ до $6 \cdot 10^{-2}$ (Гр/с)·м², произведения поглощенной дозы в воздухе на длину от $1 \cdot 10^{-5}$ до 500 Гр·см, произведения мощности поглощенной дозы в воздухе на длину от $3 \cdot 10^{-6}$ до 20 (Гр/с)·см, эквивалента дозы (амбиентного, индивидуального, направленного) от $1 \cdot 10^{-7}$ до $1 \cdot 10^2$ Зв; мощности эквивалента дозы (амбиентного, индивидуального, направленного) от $2,7 \cdot 10^{-11}$ до $1 \cdot 10^3$ Зв/с в диапазонах энергий: фотонного излучения от 15 кэВ до 50 МэВ, электронного излучения от 5 до 50 МэВ, протонного излучения от 30 до 3000 МэВ.

6.2 Пределы допускаемых относительных погрешностей Δ_0 средств измерений составляют от 2,0 до 60 %.

6.3 В качестве средств измерений единиц количества частиц применяются приборы с преобразователями типа цилиндра Фарадея (ЦФ), сцинтилляционными и полупроводниковыми детекторами, ионизационными камерами, трековые детекторы с пределами измерений от 10^2 до 10^{13} .

6.4 Пределы допускаемых относительных погрешностей Δ_0 средств

измерений единиц количества частиц в пучках протонов и тяжелых заряженных частиц составляют от 7 до 15 %.

6.5 В качестве средств измерений единиц энергии частиц применяются приборы с времяпролетными детекторами, с преобразователями типа ЦФ и ионизационными камерами с пределами измерений от 10 до 10000 МэВ.

6.6 Пределы допускаемых относительных погрешностей Δ_0 средств измерений единиц энергии частиц в пучках протонов и тяжелых заряженных частиц составляют от 7 до 15 %.

6.7 В качестве средств измерений единиц флюенса частиц в пучках протонов и тяжелых заряженных частиц применяются приборы с преобразователями типа ЦФ, сцинтилляционными и полупроводниковыми детекторами, ионизационными камерами, трековые детекторы с пределами измерений от 10^2 до 10^{13} см⁻².

6.8 Пределы допускаемых относительных погрешностей Δ_0 средств измерений единиц флюенса частиц в пучках протонов и тяжелых заряженных частиц составляют от 7 до 15 %.

6.9 В качестве средств измерений единиц плотности потока частиц в пучках протонов и тяжелых заряженных частиц применяются приборы с времяпролетными детекторами, с преобразователями типа ЦФ и ионизационными камерами с пределами измерений от 10^7 до 10^{13} см⁻²·с⁻¹.

6.10 Пределы допускаемых относительных погрешностей Δ_0 средств измерений единиц плотности потока частиц в пучках протонов и тяжелых заряженных частиц составляют от 7 до 15 %.