

**МИНИСТЕРСТВО ЗДРАВООХРАНЕНИЯ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

УТВЕРЖДАЮ
Первый заместитель министра

_____ Р.А. Часнойть
29 ноября 2007 г.
Регистрационный № 064-0706

**КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА РАБОТЫ ДОЗИМЕТРИЧЕСКОГО
ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ**

инструкция по применению

УЧРЕЖДЕНИЕ-РАЗРАБОТЧИК: ГУ «Научно-исследовательский институт онкологии и медицинской радиологии им. Н.Н. Александрова»

АВТОРЫ: д-р техн. наук, проф. И.Г. Тарутин, Г.В. Гацкевич, Д.С. Кандыбович

Минск 2008

Настоящая инструкция по применению создана по заданию 03.20 «Разработать новые методические приемы по снижению дозы на пациентов при лучевой терапии онкологических больных», включенному в подпрограмму «Онкология» ГНТП «Лечебно-диагностические технологии», а также в соответствии с Программой ограничения медицинского облучения, принятой Министерством здравоохранения Республики Беларусь 25 июня 2000 года (постановление № 20).

Инструкция предназначена для использования в отделениях лучевой терапии онкологических учреждений Республики Беларусь.

Инструкция предусматривает проверку характеристик дозиметрического оборудования, применяемого в лечебных учреждениях республики. Кроме того, в ней отражен порядок текущих проверок характеристик приборов: ежедневных, ежемесячных, ежеквартальных и годовых. Проверки проводятся инженерно-техническим персоналом медицинского учреждения.

Настоящая инструкция не распространяется на проверку технических характеристик приборов, предусмотренных инструкциями по эксплуатации, входящими в комплект документации.

Контроль качества радиотерапевтического оборудования является составной частью гарантии качества лучевой терапии – системы мероприятий по контролю качества всего технологического процесса лучевой терапии. Дозиметрический контроль отпуска поглощенной дозы является важнейшим элементом лучевого лечения пациентов. Он осуществляется с помощью современных прецизионных приборов и методик измерений.

Дозиметрический контроль в отделениях лучевой терапии разделяется на два вида измерений: контроль дозовых характеристик пучков фотонов и электронов, применяемых для дистанционного и контактного облучения и *in vivo* контроль доз, отпускаемых пациентам. Первый вид контроля проводится для калибровки мониторов дозы медицинских ускорителей электронов; для измерений опорной мощности поглощенной дозы на гамма-терапевтических аппаратах для дистанционного и контактного облучения; для измерений глубинных и профильных распределений поглощенной дозы в воде на аппаратах дистанционной лучевой терапии; для быстрых оценок распределений дозы по полю облучения с целью проверки симметрии и равномерности распределения дозы по полю облучения. Второй вид контроля проводится с помощью специальных прямопоказывающих дозиметров с полупроводниковыми детекторами или с помощью термолюминесцентных и других миниатюрных детекторов, размещаемых на теле пациентов и позволяющих оценить погрешность отпуска дозы после окончания сеанса облучения.

Все дозиметрические приборы в кабинетах и отделениях лучевой терапии можно разделить на следующие группы:

– клинические дозиметры для абсолютных измерений поглощенной дозы в стандартных условиях;

- автоматизированные водные фантомы для относительных измерений глубинных и профильных распределений поглощенной дозы на аппаратах для дистанционного облучения больных;
- матричные дозиметры для быстрого контроля распределений поглощенной дозы на медицинских ускорителях электронов;
- прямопоказывающие *in vivo* дозиметры для измерений поглощенной дозы, отпускаемой пациентам;
- термолюминесцентные дозиметры для измерений поглощенной дозы, отпускаемой пациентам;
- вспомогательное и иное оборудование.

ВИДЫ ДОЗИМЕТРИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ И ПРИМЕНЯЕМЫЕ ДОЗИМЕТРЫ

1. Виды дозиметрического контроля

В кабинетах и отделениях лучевой терапии применяются следующие виды дозиметрического контроля:

- абсолютные измерения поглощенной дозы в стандартных условиях;
- относительные измерения глубинных и профильных распределений поглощенной дозы на аппаратах для дистанционного облучения больных;
- совпадение границ радиационного и световых полей;
- быстрый контроль распределений поглощенной дозы на медицинских ускорителях электронов;
- прямопоказывающая *in vivo* дозиметрия для измерений поглощенной дозы, отпускаемой пациентам;
- интегральная *in vivo* дозиметрия для измерений поглощенной дозы, отпускаемой пациентам.

2. Приборы дозиметрического контроля

2.1. Для абсолютных прецизионных дозиметрических измерений применяются клинические дозиметры типа «УНИДОЗ», выпускаемые фирмой «PTW-Freiburg» (Германия), и принятые в Республике Беларусь как стандартные дозиметры. Возможно применение клинических дозиметров других фирм, имеющих сертификаты МЭК и Международной организации стандартизации (ISO). В качестве стандартной основной дозиметрической камеры применяется ионизационная камера Фармера объемом 0,6 см³. Для абсолютных измерений в полях электронов могут использоваться плоско-параллельные камеры Маркуса или Руза. Для дозиметрии низкоэнергетического рентгеновского излучения используются специальные плоско-параллельные камеры. Погрешность показаний ионизационной (или иной) камеры указывается в свидетельстве о поверке (сертификате) и зависит от класса поверочной лаборатории.

Примечание: Погрешность эталонных дозиметров UNIDOS лаборатории метрологии и дозиметрии ГУ «НИИ онкологии и медицинской радиологии им. Н.Н.Александрова», поверенных на вторичном эталоне ВЭТ 3808-88 ВНИИМ им. Д.И.Менделеева, составляет $\pm 2\%$ при $p = 0,95$. Погрешность рабочих дозиметров, поверяемых лабораторией метрологии и

дозиметрии ГУ «НИИ онкологии и медицинской радиологии им. Н.Н.Александрова», составляет $\pm 3\%$ при $p = 0.95$.

2.2. Относительные измерения глубинных и профильных распределений поглощенной дозы, создаваемой фотонами и электронами медицинских ускорителей, проводятся с помощью автоматизированных водных фантомов. Эти фантомы применяются и для измерения распределений дозы на дистанционных гамма-терапевтических аппаратах. Измеряются как открытые поля облучения, так и с клиновидными фильтрами, теньвыми блоками, многопластинчатыми диафрагмами ускорителей, динамическими клиньями и т. п.

2.3. Быстрый контроль распределений поглощенной дозы на медицинских ускорителях электронов проводится с помощью матричных дозиметров, содержащих от 6 до 800 ионизационных камер, и позволяет быстро оценить симметрию и неравномерность распределения поглощенной дозы по полю облучения. Контроль осуществляется в полях фотонного излучения и электронов.

2.4. Прямопоказывающая *in vivo* дозиметрия применяется для контроля поглощенной дозы, получаемой пациентами в течение сеанса облучения на любых аппаратах лучевой терапии. В качестве чувствительных элементов дозиметров используются полупроводниковые миниатюрные детекторы, размещаемые в тех точках тела, для которых заранее на системах планирования облучения рассчитана поглощенная доза. Прямопоказывающие дозиметры обычно используются во время первого сеанса облучения. В случае расхождения заданных и измеренных значений поглощенной дозы может быть проведена коррекция положения больного на лечебном столе либо условий облучения.

Интегральная *in vivo* дозиметрия для контроля поглощенной дозы, получаемой пациентами в течение сеанса или всего курса облучения на любых аппаратах лучевой терапии, может проводиться и с помощью термолюминесцентных детекторов. Измерения поглощенной дозы, полученной детекторами, могут быть проведены только после сеанса облучения. Поэтому коррекция условий облучения может осуществляться только перед следующим сеансом лучевой терапии.

Термолюминесцентные детекторы изготавливаются из материалов: LiF (Mg, Ti), LiF (Mg, Cu, P), CaSO₄ и др. Миниатюрные детекторы размещаются в тех точках тела, в которых заранее на системах планирования облучения рассчитана поглощенная доза. Чувствительность и стабильность показаний ТЛД зависит от их типа, технологии изготовления, фирмы-изготовителя и других факторов. Поэтому погрешность измерения с помощью ТЛД может колебаться в довольно больших пределах. С целью получения более достоверных результатов измерения следует использовать несколько детекторов (не менее 5). Кроме того, детекторы должны быть отсортированы по группам чувствительности. Для каждой группы должен быть определен средний калибровочный коэффициент, зависящий от энергии излучения.

3. Вспомогательное оборудование

3.1. Измерительные приборы

Измерительные приборы, относящиеся к вспомогательному оборудованию, включают барометры, термометры, таймеры, психрометры, измерители линейных и угловых размеров, уровнемеры.

Атмосферное давление измеряется барометрами-анероидами или барометрами с цифровой шкалой. Шкалы этих приборов могут быть отградуированы в миллиметрах ртутного столба или гектопаскалях (гПа). Переход от одних единиц к другим производится по формуле:

$$P = \frac{P_1 \times 1013,2}{760},$$

где P – давление в гектопаскалях;

P_1 – давление в миллиметрах ртутного столба.

Погрешность измерения давления не должна превышать $\pm 0,5$ мм рт. ст. или $\pm 0,5$ гПа. При этом погрешность измерения дозы и мощности дозы не превышает $\pm 0,1\%$. Барометры должны проходить обязательную поверку 1 раз в год.

Температуру воздуха следует измерять термометрами, входящими в состав дозиметрического оборудования. Эти термометры позволяют измерять температуру с точностью до $0,1^\circ\text{C}$. При отсутствии таких термометров, можно использовать бытовые ртутные термометры. Погрешность измерения температуры не должна превышать $\pm 0,2$ или $\pm 0,5^\circ\text{C}$ в зависимости от типа термометра. При ошибке в измерении таким термометром температуры $\pm 0,5^\circ\text{C}$ погрешность измерения дозы и мощности дозы не превышает $\pm 0,2\%$.

Промежутки времени в дозиметрии измеряются поверенными электронными или механическими таймерами. Погрешность измерения времени не должна превышать $\pm 0,01$ минуты.

Влажность воздуха в помещениях, в которых проводятся дозиметрические измерения, определяется с помощью психрометров или иных приборов контроля (индикаторных). Большинство дозиметрической аппаратуры работает при влажности достаточно широкого диапазона. Так, например, клинический дозиметр UNIDOS функционирует при влажности от 10 до 75%. Поправка на учет влажности при большинстве дозиметрических измерений практически не отличается от 1. Погрешность измерения влажности не должна превышать $\pm 5\%$.

Номинальные условия эксплуатации дозиметрических приборов по давлению, температуре и влажности указываются в их техническом описании.

Используемые в дозиметрии измерители линейных размеров (линейки, механические и оптические измерители РИП, штангенциркули и др.) должны быть надежны и удобны в работе и обеспечивать точность измерения с погрешностью, не превышающей $\pm 0,5$ мм, а в некоторых случаях и $\pm 0,1$ мм.

Измерители угловых размеров (квадранты, транспортиры и др.) должны обеспечивать точность измерения с погрешностью, не превышающей $\pm 0,5^\circ$.

Для установки горизонтальности (вертикальности) некоторых дозиметрических приборов и отдельных частей АЛТ необходимо применять измерители уровня. Обычно используются пузырьковые и электронные измерители. Погрешность измерения не должна превышать $\pm 0,5^\circ$.

3.2. Дополнительное оборудование

К этому виду оборудования относятся водные фантомы (автоматизированные и неавтоматизированные), твердотельные гомо- и гетерогенные фантомы, контрольные источники, фильтры, держатели, адаптеры, штативы, свинцовые блоки, компьютеры с соответствующим программным обеспечением и др.

Абсолютное большинство информации, используемой для планирования лучевой терапии, получают при измерениях в водных фантомах. Основным считается трехкоординатный автоматизированный водный фантом типа МРЗ (PTW-Freiburg), имеющий размеры $600 \times 500 \times 407,5$ мм, и заполняемый дистиллированной водой. Механизмы фантома позволяют устанавливать камеру с точностью до 0,1 мм по любой из координат. Есть также одно- и двухкоординатные автоматизированные водные фантомы, фантомы для измерений в горизонтальных и вертикальных пучках излучения. Для осуществления периодического контроля (например, еженедельного) используются малые неавтоматизированные водные фантомы для измерений в вертикальных или горизонтальных пучках излучения. Их размеры $300 \times 300 \times 300$ мм, и они могут заполняться обычной водой. Положение камеры в фантоме фиксируется адаптером с интервалом 5 мм. Погрешность установки камеры не превышает $\pm 0,5$ мм. Имеются малые водные фантомы с ручным механическим приводом. В таких фантомах камера может устанавливаться с погрешностью, не превышающей $\pm 0,2$ мм.

Для ежедневного и еженедельного контроля величины опорной мощности поглощенной дозы (цены мониторинговой единицы) могут использоваться твердотельные гомогенные фантомы. Погрешность установки камер в таких фантомах не превышает $\pm 0,5$ мм, а у фантомов с ручным механическим приводом установки камеры $\pm 0,2$ мм. Твердотельный гомогенный фантом состоит из набора квадратных (30×30 см) пластин толщиной 1 см. Есть несколько пластин с отверстиями для некоторых типов камер. Также имеются две пластины по 2 мм толщиной и по одной пластине толщиной 5 и 1 мм. Материалом для таких пластин чаще всего является акрил или полистирол (C_8H_8) с 2% оксида титана (TiO_2).

Измерения воздушной кермы источников для аппаратов контактной лучевой терапии (Агат-ВУ, Селектрон, Микроселектрон, Гаммамед и др.) проводятся в цилиндрическом ($\varnothing 20 \times 15$ см) твердотельном фантоме с отверстиями для фермеровской камеры и источников излучения. Воздушная керма может быть также измерена с помощью специализированной камеры колодецевого типа.

Для расчета доз с учетом плотностных различий различных органов реального пациента используется информация, полученная при дозиметрических измерениях на гетерогенных фантомах типа Алдерсона-Рэндо (Латвия, RTW Freiburg и др.). В этих фантомах имитируется форма и плотностные различия внутренних тканей и органов человека. Фантомы состоят из наборов пластин толщиной по 25 мм. В пластинах имеются отверстия для установки детекторов излучения в различных «органах». В качестве детекторов чаще всего используются термолюминесцентные (ТЛД), так как для их закладки в фантоме требуются небольшие отверстия (углубления) (4,5 мм Ø x 0,8 мм).

Для определения слоя половинного ослабления (СПО) рентгеновского излучения используются фильтры (наборы алюминиевых или медных пластин) различной толщины.

Для контроля целого ряда параметров пучков излучения используется прибор типа Iso Align. На подвижной плоскости деки прибора, которая может быть установлена под любым углом, нанесены перекрестие и контуры полей 5x5 см, 10x10 см и 20x20 см. Внутри деки имеется щель для конверта с рентгеновской пленкой. Прибор используется: для определения совпадения границ световых и радиационных полей; для оценки совпадения размеров световых полей с показаниями на шкалах или мониторах; для расчета величины девиации изоцентра; совпадения изоцентра и перекрестия лазеров при разных углах поворота консоли аппарата и др. Прибор имеет встроенный уровень или такой уровень к прибору прилагается.

В комплектацию клинических дозиметров могут входить контрольные источники. Они, как правило, содержат радиоактивный изотоп ^{90}Sr и используются для коррекции показаний дозиметра по давлению и температуре, а также для проверки работоспособности камер.

При контроле совпадения границ радиационного и световых полей с помощью рентгеновской пленки требуется определять степень почернения пленки под воздействием ионизирующего излучения. Эту работу с требуемой степенью точности реально можно выполнить только с помощью денситометра. Современные денситометры могут обрабатывать рентгеновские снимки размером до 35x43 см с пространственным разрешением 200, 100 и 50 мкм.

В состав вспомогательного оборудования к целому ряду современных дозиметрических приборов входят персональные компьютеры и принтеры. Современные клинические дозиметры, сканеры, приборы матричного типа, автоматизированные водные фантомы имеют возможность подключения к компьютеру. Некоторые из них (например: сканеры, VIVODOS, Multi Check) вообще без компьютера не могут работать. Компьютеры управляют процессом измерений, обработки, хранения и представления дозиметрической информации.

3.3. Предельно допустимые отклонения (погрешности) технических характеристик дозиметрического оборудования взяты из нормативных документов и технических описаний дозиметрических приборов.

ХАРАКТЕРИСТИКИ ДОЗИМЕТРИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ, ПОДЛЕЖАЩИЕ КОНТРОЛЮ КАЧЕСТВА И ТОЛЕРАНТНЫЕ УРОВНИ

1. Клинические дозиметры и ионизационные камеры

Проверяются следующие характеристики:

- погрешность измерения – не должна превышать $\pm 3\%$;
- ток утечки электрометра – величина не должна превышать 5×10^{-15} А;
- ток утечки электрометра с подключенной основной камерой – величина не должна превышать 10^{-14} А;
- долговременная стабильность – отклонение не более $\pm 0,3\%$ в год.
- проверка воспроизводимости показаний – отклонение не более $\pm 0,5\%$.
- линейность показаний в зависимости от величины поглощенной дозы – отклонение от линейности не более $\pm 0,5\%$ в диапазоне от 0,1 до 10 Гр;
- проверка на поляризацию – отличие от 1 $< 0,5\%$.
- проверка на рекомбинацию – отличие от 1 $< 0,5\%$.

2. Матричные дозиметры

У матричных дозиметров проверяются следующие характеристики:

- линейность показаний в зависимости от величины поглощенной дозы и мощности поглощенной дозы – отклонение от линейности не более $\pm 0,5\%$ в диапазоне от 0,1 до 10 Гр;
- долговременная стабильность показаний – отклонение не более $\pm 1,0\%$ в год.

3. Прямопоказывающие in vivo дозиметры

У прямопоказывающих *in vivo* дозиметров проверяются следующие характеристики:

- линейность показаний в зависимости от величины поглощенной дозы и мощности поглощенной дозы – отклонение от линейности не более $\pm 0,5\%$ в диапазоне от 0,1 до 10 Гр;
- долговременная стабильность показаний – отклонение не более $\pm 0,5\%$ в год.

4. Термолюминесцентные дозиметры

У термолюминесцентных дозиметров проверяются следующие характеристики:

- линейность показаний в зависимости от величины поглощенной дозы и мощности поглощенной дозы – отклонение от линейности не более $\pm 5\%$ в диапазоне от 0,1 до 10 Гр;
- долговременная стабильность – отклонение не более $\pm 3\%$ в год.

Предельно допустимые отклонения (погрешности) технических характеристик дозиметрического оборудования, содержащиеся в разделе 2, взяты из нормативных документов и технических описаний дозиметрических приборов.

ХАРАКТЕРИСТИКИ ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ, ПОДЛЕЖАЩИЕ КОНТРОЛЮ КАЧЕСТВА, И ТОЛЕРАНТНЫЕ УРОВНИ

1. Измерительные приборы

Барометры. У барометров проверяется точность показаний. Погрешность измерения давления прибором данного типа определяется лабораторией ГУ «Республиканский гидрометеорологический центр», но не должна превышать $\pm 0,5$ мм рт. ст. или $\pm 0,5$ гПа.

Термометры. У термометров проверяется точность показаний. Погрешность измерения температуры прибором данного типа определяется лабораторией Госстандарта, но не должна превышать $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$ или $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ в зависимости от типа термометра.

Таймеры. У таймеров проверяется точность показаний. Погрешность показаний таймера данного типа определяется лабораторией Госстандарта, но не должна превышать $\pm 0,01$ мин.

Измерители влажности (психрометры). У психрометров проверяется работоспособность и точность показаний. Погрешность показаний психрометра определяется лабораторией ГУ «Республиканский гидрометеорологический центр», но не должна превышать $\pm 5\%$.

Измерители линейных размеров. У средств измерений линейных размеров проверяются работоспособность, отсутствие деформаций, а у поверяемых средств и наличие свидетельств о поверке. Погрешность измерения поверенных средств измерений линейных размеров данного типа определяется лабораторией Госстандарта, но не должна превышать $\pm 0,1$ мм, у других – $\pm 0,5$ мм. При ошибке в измерении стандартного РИП в 1 мм погрешность измерения дозы и мощности дозы не превышает $\pm 0,13\%$.

Измерители угловых размеров. У средств измерений угловых размеров проверяются работоспособность, отсутствие деформаций, а у некоторых и наличие свидетельств о поверке. Погрешность измерения поверенных средств измерений угловых размеров данного типа определяется лабораторией Госстандарта, но не должна превышать $\pm 0,5^{\circ}$.

Измерители уровня. У измерителей уровня проверяется работоспособность и точность показаний. У цифровых измерителей уровня погрешность измерения величины угла не должна превышать $\pm 0,1^{\circ}$, у пузырьковых определителей уровня – $\pm 0,5^{\circ}$.

2. Дополнительное оборудование

Автоматизированные водные фантомы

У автоматизированных водных фантомов проверяются:

- точность позиционирования по всем координатам; допустимое отклонение от заданных значений не более $\pm 0,2$ мм.
- равномерность перемещения камеры;
- отсутствие (наличие) люфтов, наличие смазки, отсутствие (наличие) коррозии на механизмах;
- герметичность;

1. Проверка клинических дозиметров

1.1. Проверка погрешности показаний клинического дозиметра

Для пользователей в Республике Беларусь проверка величин погрешностей показаний камер рабочих клинических дозиметров проводится 1 раз в год поверочной лабораторией метрологии и дозиметрии ГУ «НИИ онкологии и медицинской радиологии им. Н.Н.Александрова». Величина основной погрешности составляет $\pm 3\%$ при $p = 0,95$.

Свидетельства о поверке камер должны храниться у лица, проводящего дозиметрические измерения в данном лечебном учреждении.

1.2. Проверка тока утечки электрметра, камеры

Для проверки тока утечки электрметра необходимо включить прибор, прогреть его, отсоединить камеру и провести обнуление прибора, переключить дозиметр в режим измерения тока. Показания прибора и будут являться током утечки. Допустимая величина тока утечки не должна превышать $5 \times 10^{-15} \text{ А}$.

Для проверки тока утечки камеры необходимо включить прибор, прогреть его, присоединить камеру, провести обнуление прибора, переключить дозиметр в режим измерения тока. Показания прибора и будут являться током утечки. При измерениях тока утечки нельзя двигать камеру и удлинительный кабель. Допустимая величина тока утечки (для фермеровской камеры) не должна превышать 10^{-14} А .

1.3. Проверка долговременной стабильности показаний прибора по контрольным источникам

Целью данной проверки является установление величины расхождения между рассчитанным значением поправочного коэффициента по температуре и давлению и полученным (измеренным) с помощью контрольного источника. Для этого необходимо включить прибор, прогреть его, присоединить камеру, провести обнуление прибора, вставить камеру в контрольный источник, выполнить измерение дозы за 1 мин. По формуле (1) вычисляем поправочный коэффициент по давлению и температуре.

$$K_{t,p} = \frac{K_p}{K_m}, \quad (1)$$

где $K_{t,p}$ – поправочный коэффициент по давлению и температуре;

K_p – доза за минуту при нормальных условиях;

K_m – доза за 1 мин, измеренная при существующих условиях.

Значение K_p на день измерения определяется по этой величине, приведенной в сертификате (свидетельстве о поверке) на камеру, с учетом распада источника:

$$K_p = K_{p0} \times \exp(-0,693 \times \Delta t / T). \quad (2)$$

Примечание. В дозиметре UNIDOS после измерения величины K_m значение поправочного коэффициента $K_{t,p}$ появляется на мониторе прибора.

Вычисляем поправочный коэффициент по давлению и температуре по формуле (3)

$$K_{t,p} = \frac{P_0 \times (273,15 + t)}{P \times (273,15 + t_0)}, \quad (3)$$

где t_0 – температура при калибровке камеры (обычно 20°C);

P_0 – атмосферное давление при калибровке камеры (обычно 1013,2 гПа);

t, p – температура и давление при измерении.

Примечание. В дозиметре UNIDOS после ввода значений температуры и давления величина поправочного коэффициента $K_{t,p}$ появляется на мониторе прибора.

Расхождение между коэффициентами, вычисленными по формулам (1) и (3), не должно превышать $\pm 0,5\%$ в течение года.

1.4. Проверка воспроизводимости показаний

Воспроизводимость показаний дозиметра с подключенной камерой проверяется путем измерения дозы в пучке излучения за 1 мин не менее 5 раз подряд в режиме работы дозиметра «интервал». Относительное среднеквадратичное отклонение серии измерений не должно превышать $\pm 0,5\%$. При отсутствии у дозиметра рабочего режима «интервал» необходимо проводить измерения в режиме мощности дозы. Расхождение между максимальным и минимальным значениями мощности дозы не должно превышать 1%.

1.5. Проверка линейности показаний в зависимости от величины поглощенной дозы

Измерения следует проводить на гамма-терапевтическом аппарате. Следует провести измерения дозы в режиме «интервал» последовательно за 10, 30, 60, 90, 120 с. Отношение любой пары измеренных значений дозы не должно отличаться от значения отношения соответствующих им интервалов времени более чем на $\pm 1\%$.

1.6. Проверка поправочного коэффициента на поляризацию

Измерение данного коэффициента проводится перед каждым использованием данной камеры. Условия измерения: водный фантом; стандартный РИП; поле облучения $10 \times 10 \text{ см}^2$; референсная глубина. Измеряется величина поглощенной дозы за 2 мин (200 мониторных единиц) при напряжении на камере +400 В (+300 В для камеры Маркус). Измеряется величина поглощенной дозы при напряжении 400 В. Значение поправочного коэффициента рассчитывается по формуле:

$$K_{\text{пол.}} = (|M_+| + |M_-|) / 2 M_+,$$

где M_+ – показания прибора при +400 В;

M_- – показания прибора при – 400 В.

Значение измеренного коэффициента не должно отличаться от 1 более чем на 0,005.

1.7. Проверка поправочного коэффициента на рекомбинацию

Измерение данного коэффициента проводится перед каждым использованием данной камеры. Условия измерения: водный фантом; стандартный РИП; поле облучения 10×10 см²; референсная глубина. Измеряется величина поглощенной дозы за 2 мин (200 мониторных единиц) при напряжении на камере +400 В (+300 В для камеры Маркус). Измеряется величина поглощенной дозы при напряжении +150 В. Значение поправочного коэффициента рассчитывается по формуле:

$$K_{\text{рек.}} = [(V_1/V_2)^2 - 1] / [(V_1/V_2)^2 - M_1/M_2],$$

где M_1 – показания прибора при $V_1 = +400$ В;

M_2 – показания прибора при $V_2 = +150$ В.

Значение измеренного коэффициента не должно отличаться от 1 более чем на $\pm 0,003$.

2. Проверка матричных дозиметров

2.1. Проверка линейности показаний в зависимости от величины поглощенной дозы

См. методику проверки в п. 1.5. При количестве детекторов более 10 проверяются все детекторы, расположенные на главных осях поля излучения.

2.2. Проверка долговременной стабильности показаний

Проверка заключается в сравнении с предыдущими значениями калибровочных коэффициентов детекторов, измеряемых не реже 1 раза в квартал. Проверка проводится в пучке гамма-излучения. При количестве детекторов более 10 проверяются все детекторы, расположенные на главных осях поля излучения.

2.3. Проверка воспроизводимости показаний

Проверка проводится в пучке гамма-излучения путем последовательного снятия нескольких показаний прибора подряд. Показания прибора (значение дозы, мощности дозы или отношение показания данного детектора к показанию центрального детектора) сравниваются между собой. Отклонение не должно превышать $\pm 0,5\%$. При количестве детекторов более 10 проверяются все детекторы, расположенные на главных осях поля излучения. При выявлении отклонений показаний детекторов выше допустимого значения рекомендуется проводить новую калибровку детекторов.

3. Проверка прямопоказывающих *in vivo* дозиметров

3.1. Проверка линейности показаний в зависимости от величины поглощенной дозы

Измерения следует проводить на гамма-терапевтическом аппарате. Следует провести измерения дозы последовательно за 10, 30, 60, 90, 120 с. Отношение любой пары измеренных значений дозы не должно отличаться от отношения соответствующих интервалов времени более чем на 1%. Если количество детекторов ≥ 1 , то проверка линейности производится по 1 выбранному детектору.

Примечание: Если дозиметр позволяет измерять мощность поглощенной дозы, то проверяется линейность показаний и по этой характеристике. В этом случае измерения проводятся на различных значениях РИП. Показания детекторов сравниваются со значениями мощности дозы, измеренными клиническим дозиметром в тех же точках.

3.2. Проверка стабильности показаний

Проверка заключается в сравнении значений калибровочных коэффициентов детекторов, измеряемых ежедневно (в случае ежедневной работы прибора). Проверка проводится в пучке гамма-излучения. Отклонение не должно превышать $\pm 0,5\%$ в год.

Примечание: Если поведение детектора достаточно хорошо изучено, калибровку можно производить реже, но не менее 1 раза в месяц.

3.3. Проверка воспроизводимости показаний

Проверка проводится в пучке гамма-излучения путем последовательного снятия нескольких показаний прибора подряд. Показания детекторов (значения дозы) сравниваются между собой. Отклонение не должно превышать $\pm 0,5\%$.

4. Проверка термолюминесцентных дозиметров

4.1. Проверка линейности показаний в зависимости от величины поглощенной дозы

Измерения следует проводить на гамма-терапевтическом аппарате. С помощью термолюминесцентных детекторов (в количестве не менее 10 штук из одной группы чувствительности) провести измерения дозы последовательно за 10, 30, 60, 90, 120 с. Для каждого интервала времени рассчитать среднее значение дозы. Отношение любой пары доз не должно отличаться от отношения соответствующих интервалов времени более чем на 5%.

Примечание: Измерения доз лучше проводить в гомогенном твердотельном фантоме на глубине максимума ионизации (5 мм). Детекторы должны находиться в зоне равномерности пучка излучения. Толщина фантома под детекторами должна быть не менее 4 см.

4.2. Проверка долговременной стабильности показаний

Проверка заключается в сравнении значений калибровочных коэффициентов детекторов, измеряемых после каждых 5 отжигов. Проверка проводится в пучке излучения соответствующей энергии в зоне равномерности на глубине максимума ионизации. Допустимое отклонение не более $\pm 5\%$.

Предельно допустимые отклонения (погрешности) технических характеристик дозиметрического оборудования, содержащиеся в разделе 1, взяты из нормативных документов и технических описаний дозиметрических приборов.

**МЕТОДИКИ
ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО
КОНТРОЛЮ**

**ПРОВЕРКИ
ОБОРУДОВАНИЯ,**

**ХАРАКТЕРИСТИК
ПОДЛЕЖАЩИХ**

1. Проверка барометров, термометров, таймеров, измерителей линейных и угловых размеров, измерителей уровня, измерителей влажности

Барометры и психрометры поверяются лабораторией ГУ «Республиканский гидрометеорологический центр» 1 раз в год. Термометры, таймеры, измерители линейных и угловых размеров поверяются 1 раз в год в Госстандарте.

У измерителей линейных и угловых размеров, используемых для текущих (не калибровочных) измерений, проверяются визуально наличие шкал и отсутствие деформационных эффектов.

Проверка измерителей уровня осуществляется путем проверки с их помощью вертикальности (горизонтальности) плоскостей, вертикальность (горизонтальность) которых определена независимым способом, например, с помощью отвеса.

У измерителей влажности (психрометров) проверяются визуально наличие шкал и работоспособность. У психрометров индикаторного типа своевременно производится замена индикаторного материала.

2. Проверка автоматизированных водных фантомов

2.1. Проверка точности позиционирования по всем трем координатам

Установить держатель камеры приблизительно в центре фантома. Зафиксировать это положение как начало координат. С помощью ручного пульта управления фантома передвинуть ползунок по выбранной координате на 10 см (по дисплею). Затем при помощи поверенного штангенциркуля измерить реальную величину смещения ползунка от начала координат. Отклонение измеренного значения от заданного не должно превышать 0,2 мм.

2.2. Проверка состояния тормозной системы подъемного механизма подставки

Заполнить фантом водой до максимального уровня. Измерить расстояние источник-поверхность (РИП) с помощью дальномера аппарата лучевой терапии. Повторить измерение РИП через 1 час. Изменение расстояния не должно превышать ± 1 мм.

Возможна установка верхнего уровня воды по горизонтальным линиям боковых центраторов. В этом случае изменение уровня воды относительно линий лазера измеряется с помощью линейки.

2.3. Проверка механизмов перемещения детектора

Визуально проверяется наличие/отсутствие люфтов, наличие смазки на механизмах, следов деформации, ржавчины. Также проверяется равномерность движения (без заеданий) держателя детектора по всем трем направлениям (на малой скорости).

2.4. Проверка герметичности фантома

Визуально проверяется отсутствие утечки воды из резервуара фантома при его максимальном заполнении. Проверку следует проводить перед каждым использованием и в процессе работы.

3. Проверка малых водных, твердотельных гомогенных и гетерогенных фантомов

У малых водных фантомов в первую очередь следует проверить наличие всех адаптеров (держателей камер). При наличии у фантома ручного механического привода установки камеры следует проверять точность позиционирования (см. методику 2.1.), отсутствие люфтов, наличие смазки и отсутствие коррозии на механизме перемещения камеры. Для проверки герметичности малых водных фантомов их следует заполнить водой до максимального уровня. Необходимо следить за отсутствием утечки воды из фантомов и в процессе работы с ними.

У гомогенных твердотельных фантомов проверяется комплектность пластин, входящих в состав фантома. Визуально проверяется отсутствие деформационных эффектов пластин.

У гетерогенных твердотельных фантомов визуально проверяется комплектность пластин, входящих в состав фантома; отсутствие деформационных эффектов пластин; надежность фиксации пластин и надежность стяжки; отсутствие отслоений гетерогенных вставок.

4. Проверка контрольных источников

Проверяется наличие в комплекте термометра, адаптеров для различных камер. Визуально проверяется состояние покраски, отсутствие деформаций контейнера.

5. Проверка фильтров для определения СПО

Проверяется комплектность медных и алюминиевых фильтров, отсутствие больших деформаций и разрывов.

6. Прибор контроля параметров пучков излучения Iso Align

Проверяются комплектность, отсутствие люфтов и деформационных эффектов, надежность фиксации деки при всех возможных углах наклона (через каждые 10°), работоспособность механизмов установки уровня.

7. Проверка денситометров

Пространственная и плотностная разрешающая способность денситометров проверяется с помощью тест-объектов по методикам, изложенным в техническом описании прибора.

8. Проверка компьютерного обеспечения

В первую очередь проверяется правильность соединения компьютера с дозиметрическим прибором. Перед началом измерений проверяется управляемость процесса дозиметрических измерений с помощью программного обеспечения. В случае выхода программы из строя, ее следует переустановить.

ПЕРИОДИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ХАРАКТЕРИСТИК ДОЗИМЕТРИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Периодический контроль характеристик дозиметрических приборов вводится с целью проверки их соответствия нормативным требованиям для данного типа дозиметрических измерений. Контроль качества работы

приборов является составным элементом системы гарантии качества лучевой терапии.

Виды периодического контроля представлены в табл. 1-2.

Примерные формы документов о проверке дозиметрического оборудования приведены в приложениях А-Г.

Таблица 1

Периодичность контроля дозиметров

№	Название оборудования	Параметры, подлежащие контролю	Периодичность контроля
1	Клинические дозиметры	– Ток утечки электрометра	1 раз в месяц
		– Ток утечки камеры	1 раз в месяц
		– Показания прибора по контрольным источникам	1 раз в квартал
		– Линейность показаний в зависимости от величины поглощенной дозы и мощности поглощенной дозы	1 раз в квартал
		– Долговременная стабильность	1 раз в квартал
		– Проверка прибора на поляризацию и рекомбинацию	перед каждым измерением
2	Матричные дозиметры	– Линейность показаний в зависимости от величины поглощенной дозы и мощности поглощенной дозы	1 раз в квартал
		– Долговременная стабильность показаний	1 раз в полугодие
3	Прямопоказывающие in vivo дозиметры	– Линейность показаний в зависимости от величины поглощенной дозы и мощности поглощенной дозы	1 раз в квартал
		– Долговременная стабильность показаний	1 раз в полугодие
4	Термолюминесцентные дозиметры	– Линейность показаний в зависимости от величины поглощенной дозы и мощности поглощенной дозы	1 раз в квартал
		– Долговременная стабильность	1 раз в квартал

Примечание: Контроль проводится инженерно-техническим персоналом учреждения-пользователя.

Таблица 2

Периодичность контроля вспомогательного дозиметрического оборудования

№	Название оборудования	Параметры, подлежащие контролю	Периодичность контроля
1	Барометры	Погрешность измерений	Поверка 1 раз в год в Гидрометцентре
2	Термометры	Погрешность измерений	Поверка 1 раз в год в Госстандарте
3	Таймеры	Погрешность измерений	Поверка 1 раз в год в Госстандарте
4	Психрометры	Работоспособность, погрешность измерений	Поверка 1 раз в год в Гидрометцентре
5	Измерители линейных и угловых размеров,	Погрешность измерений	Поверка 1 раз в год
6	Уровнемеры	Работоспособность	Перед каждым использованием
7	Автоматизированный водный фантом	- Точность позиционирования по всем координатам	1 раз в квартал
		- Равномерность перемещения камеры	Перед каждым использованием
		- Люфты и наличие смазки	1 раз в квартал
		- Наличие коррозии на механизмах	Перед каждым использованием
		- Герметичность	Перед каждым использованием
		- надежность тормозов подъемного механизма	1 раз в месяц
8	Малые водные фантомы с ручным механизмом перемещения	- Комплектность	1 раз в квартал
		- Точность позиционирования	1 раз в квартал
		- Состояние механического привода	Перед каждым использованием
		- Герметичность.	Перед каждым использованием
9	Малые водные фантомы (немеханизированные)	- Комплектность	Перед каждым использованием
		- Герметичность	1 раз в квартал

10	Твердотельные гомогенные фантомы	- деформационные эффекты	Перед каждым использованием
11	Твердотельные гетерогенные фантомы	- Деформационные эффекты и надежность креплений между пластинами, надежность крепления в пластинах гетерогенных вставок	Перед каждым использованием
12	Контрольные источники	- Деформационные эффекты и окраска контейнера, комплектность	Перед каждым использованием
13	Фильтры, блоки, держатели, штативы, адаптеры	- Работоспособность, деформационные эффекты и окраска, комплектность	Перед каждым использованием
14	Компьютеры с соответствующим программным обеспечением	- Работоспособность программного обеспечения, наличие обмена данными с другим оборудованием	Перед каждым использованием
15	Iso Align (или прибор аналогичного типа)	- Работоспособность, деформационные эффекты, фиксация деки, люфты	Перед каждым использованием
16	Денситометры	- Пространственное и плотностное разрешение	1 раз в год

Примечание: Контроль пунктов 6-16 проводится инженерно-техническим персоналом учреждения-пользователя.

Отметка о поверке дозиметрического оборудования

№ п/п	Наименование оборудования, тип, заводской номер	Периодичность поверки	Дата поверки
1	Клинический дозиметр	1 раз в 2 года в метрологической лаборатории	1. -----
2	Барометр	1 раз в год в Госстандарте	1. -----
3	Термометр	1 раз в год в Госстандарте	1. -----
4	Таймер	1 раз в год в Госстандарте	1. -----
5	Измеритель линейных размеров	1 раз в год в Госстандарте	1. -----
6	Измеритель угловых размеров	1 раз в год в Госстандарте	1. -----
7	Психрометр	1 раз в год в Госстандарте	1. -----
8	Денситометр	1 раз в год службой сервисного обслуживания	1. -----

ПРОТОКОЛ

контроля характеристик дозиметрического оборудования перед каждым использованием

Год _____

№ п/п	Наименование оборудования	дата	соответствие																				
		/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
1	Автоматизированные водные фантомы	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
2	Малый водный фантом с механическим ручным приводом	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
3	Малый водный фантом (без механического ручного привода)	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
4	Твердотельный гомогенный фантом	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
5	Твердотельный гетерогенный фантом	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
6	Контрольные источники	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
7	Iso Align (или прибор аналогичного типа)	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
8	Компьютеры с программным обеспечением	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
9	Уровнемер	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
10	Фильтры, блоки, держатели, штативы, адаптеры	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Подпись лица проводившего проверку																							

Примечания: 1. В графе «Наименование оборудования» перечисляется оборудование, имеющееся в учреждении. 2. Соответствие (несоответствие) оборудования требованиям можно обозначать знаком «+» («-»).

ПРОТОКОЛ

ежемесячной проверки дозиметрического оборудования

Год _____

№ п/п	Наименование Оборудования	дата																
		соответствие																
1	Клинический дозиметр																	
2	Автоматизированный водный фантом																	
Подпись лица проводившего проверку																		

Примечание: Соответствие (несоответствие) оборудования требованиям можно обозначать знаком «+» («-»).

ПРОТОКОЛ

ежеквартальной проверки дозиметрического оборудования

Год _____

№ п/п	Наименование оборудования	I		II		III		IV	
		дата	соответст	дата	соответст	дата	соответст	дата	соответст
	Клинический дозиметр								
	Матричный дозиметр								
	Прямопоказывающий in vivo дозиметр								
	Термолюминесцентный дозиметр								
	Автоматизированный водный фантом								
	Малый водный фантом с мех. ручным приводом								
	Малый водный фантом (без механ. ручного привода)								
	Iso Align (или прибор аналогичного типа)								
	Подпись лица, проводившего проверку								

Примечание: Соответствие (несоответствие) оборудования требованиям можно обозначать знаком «+» («-»).