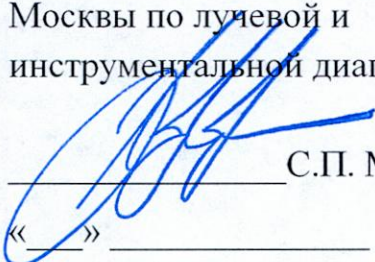


**ПРАВИТЕЛЬСТВО МОСКВЫ  
ДЕПАРТАМЕНТ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ ГОРОДА МОСКВЫ**

**СОГЛАСОВАНО**

Главный внештатный специалист  
Департамента здравоохранения города  
Москвы по лучевой и  
инструментальной диагностике

  
\_\_\_\_\_ С.П. Морозов  
«  » \_\_\_\_\_ 2020 г.

**РЕКОМЕНДОВАНО**

Экспертным советом по науке  
Департамента здравоохранения  
города Москвы № 16

  
«20» 16.08.20 2020 г.  


**ВНЕШНИЙ ДОЗИМЕТРИЧЕСКИЙ АУДИТ АБСОЛЮТНОЙ  
КАЛИБРОВКИ КЛИНИЧЕСКИХ ПУЧКОВ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ  
АППАРАТОВ ДИСТАНЦИОННОЙ  
РАДИОТЕРАПИИ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЕМ**

Методические рекомендации № 127

Москва  
2020

УДК 615.84+616-073.75

ББК 53.6

В 60

**Организация-разработчик:**

Государственное бюджетное учреждение здравоохранения города Москвы «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы»

**Составители:**

**Шатёнок М. П.** – медицинский физик, эксперт отдела клинической дозиметрии и медицинской физики ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ»

**Моисеев А. Н.** – к. ф.-м. н., медицинский физик, эксперт отдела клинической дозиметрии и медицинской физики ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ», зав. отделением медицинской физики ООО «Медскан»

**Толкачёв К. В.** – медицинский физик, эксперт отдела клинической дозиметрии и медицинской физики ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ»

**Рыжов С. А.** – руководитель центра по радиационной безопасности и медицинской физике ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ»

**Дружинина Ю. В.** – преподаватель кафедры радиационной гигиены им. академика Ф. Г. Кроткова ФГБОУ ДПО РМАНПО, эксперт отдела клинической дозиметрии и медицинской физики ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ»

**Соколов Е. Н.** – начальник отдела клинической дозиметрии и медицинской физики ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ»

**Морозов С. П.** – д.м.н., профессор, главный внештатный специалист по лучевой и инструментальной диагностике ДЗМ и Минздрава России по ЦФО РФ, директор ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ»

В 60 Внешний дозиметрический аудит абсолютной калибровки клинических пучков гамма-излучения аппаратов дистанционной радиотерапии гамма-излучением: методические рекомендации / сост. М.П. Шатёнок М.П., А.Н. Моисеев, К.В. Толкачёв [и др.] // Серия «Лучшие практики лучевой и инструментальной диагностики». – Вып. 84. – М.: ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ», 2020. – 30 с.

**Рецензенты:**

**Назаренко Алексей Витальевич** – к.м.н., врач-радиотерапевт, старший научный сотрудник отдела общей онкологии ГБУЗ МКНЦ имени А.С. Логинова ДЗМ

**Романов Денис Сергеевич** – к.м.н., врач-радиотерапевт ФГБУ «НМИЦ онкологии им. Н.Н. Блохина Минздрава России», врач-онколог, заместитель генерального директора по научной деятельности ООО «ЦИМТ»

Настоящие методические рекомендации устанавливают порядок планирования, проведения, оформления и анализа результатов внешних дозиметрических аудитов абсолютной калибровки клинических пучков гамма-излучения аппаратов дистанционной радиотерапии гамма-излучением, включая методику измерений, требования к оборудованию и ответственному персоналу. Рекомендации предназначены для медицинских физиков, техников-дозиметристов и руководящего состава отделений дистанционной радиотерапии.

Данные методические рекомендации разработаны в ходе выполнения научно-исследовательской работы «Оценка доз облучения пациента»

*Данный документ является собственностью Департамента здравоохранения города Москвы, не подлежит тиражированию и распространению без соответствующего разрешения*

ISSN

© Департамент здравоохранения города Москвы, 2020

© ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ», 2020

© Коллектив авторов, 2020

## СОДЕРЖАНИЕ

Нормативные ссылки .....	4
Обозначения и сокращения .....	5
Введение .....	6
1. Область применения.....	7
2. Общие положения.....	8
3. Описание процесса аудита.....	9
3.1. Заявка на аудит.....	9
3.2. Планирование процесса .....	9
3.3. Требования к персоналу .....	10
3.4. Подготовка .....	11
3.5. Требования к оборудованию .....	12
3.5.1. Требования к оборудованию для аудита.....	12
3.5.2. Оборудование пользователя.....	14
3.6. Методика измерений.....	15
3.6.1. Общие положения .....	15
3.6.2. Расчет дозы и времени облучения с помощью системы дозиметрического планирования (1 этап).....	15
3.6.3. Измерение поглощенной дозы в водном фантоме на аппарате (2 этап) ..	16
3.7. Результаты аудита и анализ.....	18
3.7.1. Анализ результатов аудита.....	18
3.7.2. Сбор статистики .....	19
3.7.3. Статистический анализ результатов аудита .....	20
3.7.4. Уведомление пользователя.....	20
3.8. Завершение аудита .....	21
Заключение.....	22
Список использованных источников.....	23

## НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

В настоящем документе использованы ссылки на следующие нормативные документы (стандарты):

1. ГОСТ 23154-78. Аппараты гамма-терапевтические статические и ротационные для дальнедистанционного облучения. Общие технические условия (с изменениями № 1, 2, 3).

2. ГОСТ Р 56318-2014. Изделия медицинские электрические. Аппараты для дистанционной лучевой терапии гамма-терапевтические. Технические требования для государственных закупок.

3. ГОСТ 16758-71. Аппараты терапевтические радиоизотопные. Термины и определения.

4. ГОСТ 30324.11-2002. Изделия медицинские электрические. Часть 2. Частные требования безопасности к гамма-терапевтическим аппаратам.

5. ГОСТ 17064-71. Основные функциональные узлы, принадлежности и вспомогательные устройства гамма-аппаратов. Термины и определения.

6. МУ 2.6.1.2135-06. Гигиенические требования по обеспечению радиационной безопасности при лучевой терапии закрытыми радионуклидными источниками.

7. СанПиН 2.6.1.2891-11. Требования радиационной безопасности при производстве, эксплуатации и выводе из эксплуатации (утилизации) медицинской техники, содержащей источники ионизирующего излучения.

8. РД 50-691-89. Методические указания. Государственная система обеспечения единства измерений. Поглощенные дозы фотонного (1–50 МэВ) и электронного (5–50 МэВ) излучений в лучевой терапии. Методы определения.

9. РМГ 78-2005 ГСИ. Излучения ионизирующие и их измерения. Термины и определения.

10. ГОСТ Р МЭК 60050-881-2008. Международный электротехнический словарь. Глава 881. Радиология и радиологическая физика.

11. СанПиН 2.6.1.2523-09. Нормы радиационной безопасности НРБ-99/2009.

12. ОСПОРБ-99. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности.

## ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

- ГТА** – гамма-терапевтический аппарат.  
**РИП** – расстояние от источника до поверхности.  
**РИО** – расстояние от источника до оси аппарата.  
**СДП** – система дозиметрического планирования.  
**ПО** – программное обеспечение.  
**МО** – медицинская организация.  
**МЛК** – многолепестковый коллиматор.

## ВВЕДЕНИЕ

Точность абсолютной калибровки гамма-терапевтических аппаратов (ГТА) является критическим параметром для качественной и безопасной реализации назначенного курса лучевой терапии. Возможные отклонения вносят систематическую ошибку в процесс подведения дозы каждому пациенту, проходящему радиотерапию. Отсутствие надлежащего контроля за данной характеристикой может привести к избыточному или недостаточному облучению пациента, повлечь за собой критические осложнения и радиационные аварии. Общепринятой мировой практикой контроля качества радиотерапии на национальном уровне является проведение регулярных внешних независимых дозиметрических аудитов клинических пучков гамма-излучения ГТА [1–6]. В настоящее время в Российской Федерации (РФ) и в департаменте здравоохранения г. Москва в частности отсутствуют рекомендации и методические указания по проведению подобных процедур.

Настоящие методические рекомендации (МР) регламентируют процесс внешнего дозиметрического аудита абсолютной калибровки клинических пучков гамма-излучения аппаратов для дистанционной радиотерапии гамма-излучением. Конечной целью аудита является повышение качества радиотерапии на ГТА и минимизация риска подведения ошибочной дозы пациентам. Указанные цели достигаются за счет внедрения стандартизированных процедур проверки точности подведения абсолютной дозы, определения статистических показателей результатов аудита по различным регионам и проведения корректирующих мероприятий по повышению качества.

## 1. ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

Представленные методические рекомендации содержат методические указания и рекомендации по внешнему дозиметрическому аудиту абсолютной калибровки клинических пучков гамма-излучения ГТА. МР применимы в области дистанционной радиотерапии. Аудиту подвергаются клинические пучки гамма-излучения ГТА на основе радиоактивного источника ( $^{60}\text{Co}$ ) со средней энергией 1,25 мегаэлектронвольт.

Настоящие МР устанавливают порядок планирования, проведения, оформления и анализа результатов аудитов, включая методику измерений, требования к оборудованию и ответственному персоналу.

Методические рекомендации предназначены для медицинских физиков, техников-дозиметристов и руководящего состава отделений дистанционной радиотерапии.

## 2. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

2.1. Аудит направлен на повышение качества и безопасности дистанционной радиотерапии на ГТА.

2.2. Аудиты осуществляются в целях:

- проверки точности подведения абсолютной дозы;
- определения статистических показателей по региону проведения аудита;
- минимизации вероятности подведения ошибочной дозы пациентам.

2.3. Аудит является внешним дозиметрическим, то есть подразумевает выезд компетентных специалистов на объект аудита для проведения необходимых дозиметрических измерений с помощью специального оборудования.

2.4. Аудит является независимым, то есть проводится специалистами, не являющимися сотрудниками МО. Для проведения измерений используется дозиметрическое оборудование, не применяемое в рутинном клиническом процессе МО. Данное требование необходимо для исключения возможности переноса ошибок, связанных с неисправностью оборудования и человеческим фактором.

2.5. Аудит основывается на принципах законности, объективности, профессиональной компетентности.

2.6. Каждый аудит включает в себя следующие этапы:

- заявка на аудит;
- планирование аудитов;
- подготовка;
- проведение аудита;
- анализ результатов;
- корректирующие мероприятия;
- подготовка и сдача отчетности.

2.7. Объектом аудита являются клинические пучки гамма-излучения ГТА на основе радиоактивного источника ( $^{60}\text{Co}$ ) со средней энергией 1,25 мегавольт.

2.8. Аудит проводится в отделениях дистанционной радиотерапии.

2.9. Для проведения аудита необходимо:

- а) наличие методических рекомендаций, нормативных документов и стандартов, в соответствии с которыми осуществляется проверка;
- б) наличие специально подготовленного персонала для проведения аудита, отвечающего требованиям, изложенным в настоящих МР (пункт 3.3);
- в) наличие комплекта специального дозиметрического оборудования, отвечающего требованиям, изложенным в настоящих МР (пункт 3.5).

2.10. Блок-схема процесса аудита представлена в приложении А.

2.11. Результаты аудитов используются для анализа и принятия дальнейших корректирующих мер по повышению качества оказания медицинских услуг.

## ОПИСАНИЕ ПРОЦЕССА АУДИТА

### 3.1. Заявка на аудит

Первым этапом процесса аудита является получение заполненной заявки на участие от объекта аудита. Формы заявок для участия в программе внешнего дозиметрического аудита заблаговременно направляются в отделения радиотерапии. Заполненные заявки направляются аудиторам для анализа и дальнейшего планирования процесса.

Заявка на аудит представлена в виде электронной и бумажной формы (приложение Б). Заявка содержит следующие пункты:

1. Полное наименование медицинской организации, запрашивающей проведение аудита.
2. ФИО, должность, контактная информация лица, заполняющего форму.
3. Дата заполнения.
4. Количество пучков, запрашиваемых для аудита с указанием их технических параметров (наличие МЛК, СДП).
5. Удобная дата для проведения аудита.

Заявка дополнена техническим приложением, обязательным для заполнения (приложение В). Техническое приложение к заявке представлено в виде таблицы и содержит следующие пункты:

1. Наименование медицинской организации, запрашивающей проведение аудита.
2. ФИО, должность, контактная информация лица, заполняющего форму.
3. Дата заполнения.
4. Информация о ГТА с пучками, планируемыми к участию в программе аудита (производитель, модель, год выпуска, дата установки, серийный номер, МЛК, дополнительное устройство коллимации пучка).
5. Параметры калибровки времени облучения (электрометр, фантом, референсная камера и ее коэффициент  $N_{D,w}$ , используемый протокол, геометрия калибровки, глубина расположения детектора, нормировочный коэффициент).
6. Описание систем дозиметрического планирования, используемых клинически (производитель, наименование, версия, используемые алгоритмы). Также указываются параметры калибровки времени облучения в СДП.
7. Параметры пучков гамма-излучения для участия в программе аудита (аппарат, МЛК и дополнительные устройства коллимации пучка, размер референсного поля, СДП).
8. Дата и результаты последнего внешнего дозиметрического аудита, если таковой проводился ранее.

### 3.2. Планирование процесса

Аудит проводится согласно Плану аудитов на год (приложение Г «План дозиметрических аудитов абсолютной калибровки клинических пучков гамма-излучения ГТА»).

Планирование процесса осуществляется по результатам предварительного анализа объектов аудита с учетом:

- полученных заявок на аудит;
- результатов пройденного дозиметрического аудита;
- даты последнего проведенного аудита;
- возраста оборудования;
- географического признака;
- возможности проведения аудита в установленные сроки.

План аудитов формируется на основе принципа приоритизации и может быть скорректирован в любой момент в течение года в зависимости от получаемых заявок, штатных возможностей и другой актуальной информации. В Плане аудитов предусматривается резервное временное окно для срочных внеплановых аудитов в экстренных ситуациях.

В первую очередь в План аудитов включаются пучки гамма-излучения ГТА отделений дистанционной радиотерапии, для которых зарегистрированы отклонения по абсолютной дозе более 5 %, а также новые пучки, не подвергавшиеся внешнему дозиметрическому аудиту с момента ввода в эксплуатацию. Рекомендованная частота участия в программе внешнего дозиметрического аудита составляет – раз в год для каждого пучка.

Содержательная часть плана оформляется в виде таблицы, в ней указывается:

1. Полное наименование медицинской организации, в отношении которой планируется проведение аудита в текущем году.
2. Наименование оборудования и характеристики пучков.
3. Сроки проведения аудитов в хронологическом порядке.

### 3.3. Требования к персоналу

Требования к персоналу, ответственному за проведение внешних дозиметрических аудитов пучков ГТА, изложены в таблице 1.

Таблица 1 – Требования к персоналу для проведения дозиметрического аудита

1. Требования к образованию и обучению	Высшее образование – бакалавриат по направлению подготовки (специальности) «Медицинская физика». Высшее образование – бакалавриат по направлениям подготовки (специальностям): «Физика», «Ядерная физика и технологии» и дополнительное профессиональное образование (повышение квалификации) по специальности «Медицинская физика». Высшее образование – бакалавриат или специалитет по любым направлениям подготовки (специальностям) и дополнительное профессиональное образование (профессиональная переподготовка) по специальности «Медицинская физика».
--	--

Продолжение таблицы 1

2. Требования к опыту практической работы	3 года
3. Особые условия допуска к работе	Допуск к работе с источниками ионизирующих излучений в соответствии с требованиями нормативных документов
4. Необходимые знания	<p>Иметь четкое представление о технологической цепи лучевой терапии, реализуемой на установленном оборудовании</p> <p>Знать радиационно-физические и нерадиационные параметры и характеристики установок, аппаратов, основного и вспомогательного оборудования для терапевтического облучения больных</p> <p>Знать технологии контроля параметров и характеристик оборудования и устройств в рамках программ гарантии качества лучевой терапии</p> <p>Знать нормативные документы, принципы и технологии профилактики, обнаружения и устранения последствий возможных радиационных аварий в лучевой терапии</p> <p>Знать должностные обязанности медицинских работников в медицинских организациях по профилю «Лучевая терапия»</p> <p>Знать нормативные правовые акты Российской Федерации в сфере здравоохранения; основы трудового законодательства; правила внутреннего трудового распорядка; правила по охране труда и противопожарной защиты</p>
5. Дополнительные требования	Наличие документа о повышении квалификации по радиационной безопасности; наличие прямопоказывающего персонального дозиметра; группа А

### 3.4. Подготовка

Подготовка к проведению аудита осуществляется в соответствии с планом аудитов и состоит из следующих этапов:

1. Обработка информации, содержащейся в заявке на аудит (учитывается предыдущий опыт участия отделения в аудите).

2. Согласование списка дозиметрического оборудования, необходимого для проведения аудита. Список формируется с учетом оснащения конкретного отделения радиотерапии.

3. Согласование даты и времени визита с ответственным лицом и/или руководителем отделения.

### 3.5. Требования к оборудованию

#### 3.5.1. Требования к оборудованию для аудита

Требования, предъявляемые к оборудованию, сформированы на основании международных рекомендаций [7].

##### *Требования к средствам измерения и фантомам*

Комплект оборудования для проведения дозиметрического аудита пучков ГТА включает в себя электрометр клинический универсальный образцового класса, ионизационную камеру типа Farmer (или эквивалент) для абсолютной дозиметрии, малый водный фантом с возможностью сканирования оси пучка по глубине (1D) для установки в него ионизационной камеры и измерения поглощенной дозы в воде, комплект соединительных кабелей для подключения ионизационной камеры. Дозиметрическое оборудование поверяется метрологической службой в соответствии с технической документацией фирмы изготовителя, но не реже 1 раза в 2 года. Требования к техническим параметрам представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Требования к функциональным и техническим характеристикам средств измерения и фантомов

№	Наименование параметра	Минимальное значение	Максимальное значение	Неизменяемый показатель
1	Клинический электрометр образцового класса для абсолютной дозиметрии терапевтических пучков	-	-	Наличие
1.1	Измерение тока/заряда в электрических единицах, I, q в А, Кл	-	-	Наличие
1.2	Измерение поглощенной дозы в воде, Dw в Гр	-	-	Наличие
1.3	Индикация времени измерения при измерении дозы	-	-	Наличие
1.4	Возможность введения данных для автоматической поправки на температуру и давление	-	-	Наличие
1.5	Минимальный шаг изменения напряжения	-	Не более 1 В	-
1.6	Точность установки напряжения на камере	-	-	$\pm 1$ В

Продолжение таблицы 2

1.7	Индикация измеренной величины в дозиметрических или электрических единицах	-	-	Наличие
1.8	Диапазон измеряемых значений дозы	10 мГр	100Гр	-
1.9	Диапазон измеряемых значений мощности дозы	100 мГр/мин	1 кГр/мин	-
2	Ионизационная камера типа Farmer (или эквивалент) для абсолютной дозиметрии в радиационной терапии	-	-	Наличие
2.1	Разъем камеры, совместимый с используемым электрометром клиническим универсальным образцового класса	-	-	Наличие
2.2	Наличие у камеры подтвержденных коэффициентов коррекции на качество пучка для протоколов измерений, основанных на поглощенной дозе в воде	-	-	Наличие
2.3	Полная совместимость с используемым электрометром	-	-	Наличие
2.4	Полная водонепроницаемость	-	-	Наличие
2.5	Возможность измерения поглощенной дозы в воде, кермы в воздухе	-	-	Наличие
2.6	Номинальный чувствительный объем полости камеры	0,6 см <sup>3</sup>	0,65 см <sup>3</sup>	-
2.7	Чувствительность	Не менее 20 нКл/Гр	-	-
2.8	Диапазон энергии фотонов	1,17 МэВ	1,33 МэВ	-
2.9	Свидетельство о первичной поверке с используемым электрометром	-	-	Наличие
3	Малый водный фантом с возможностью сканирования вдоль оси пучка (1D)	-	-	Наличие
3.1	Внешние размеры	300x300x300 мм (длина x ширина x высота)	450x450x450 мм (длина x ширина x высота)	-

Продолжение таблицы 2

3.2	Диапазон перемещения каретки в вертикальном направлении	Не менее 25 см	-	-
3.3	Механизм, перемещающий каретку детектора по оси	-	-	Наличие
3.4	Механизм для вертикального позиционирования и выравнивания бака	-	-	Наличие
3.5	Объем водного бака	25 л	50 л	-
3.6	Материал водного бака	-	-	Прозрачный акрил
3.7	Точность позиционирования	Не менее 0,1 мм	-	-
4	Держатель, предназначенный для установки используемой камеры типа Farmer (или эквивалент) на движущийся механизм фантома	-	-	Наличие
5	Катушка с кабелем удлинительным детектор-электрометр, совместимая с используемой ионизационной камерой, длина кабеля	20 м	25 м	-

*Требования к вспомогательному оборудованию:*

линейка – точность и цена деления не хуже 1 мм;

уровень – точность не хуже 0,1°;

барометр – точность не хуже 1 мм рт. ст.;

термометр – точность не хуже 0,1 °С.

### 3.5.2. Оборудование пользователя

Методика аудита, изложенная в настоящем документе, может быть использована для большинства медицинских гамма-терапевтических аппаратов, представленных на российском рынке современного радиотерапевтического оборудования и установленных в МО с учетом следующих требований:

– возможность установки радиационного поля размером более чем 10 см на 10 см;

– аппарат не является гибридной МРТ-системой.

Специальных требований к СДП и дозиметрическому оборудованию пользователя не предъявляется.

## 3.6. Методика измерений

### 3.6.1. Общие положения

Для оценки точности абсолютной калибровки пучков ГТА проводится измерение поглощенной дозы в водном фантоме в референсных условиях. Предварительно в СДП рассчитывается необходимое время облучения в геометрии, соответствующей последующему измерению. Цель метода заключается в оценке расхождения значений заданной в СДП дозы и измеренной дозы.

Данная методика позволяет оценить точность подведения дозы с учетом расчета на СДП, что наиболее приближено к реальному облучению пациента в клинике. Правильное определение референсной геометрии для расчета абсолютной дозы в СДП и ее совпадение с условиями последующего измерения абсолютной дозы, а также правильное моделирование распада радиационного источника в СДП и корректный расчет времени облучения являются критически важными с точки зрения обеспечения качества лечения. Эта методика помогает выявить возможные ошибки как в настройке ГТА, так и СДП.

Методика измерений состоит из двух этапов:

- 1 этап: расчет дозы и времени облучения с помощью СДП;
- 2 этап: измерение поглощенной дозы в водном фантоме на аппарате в соответствии с рабочим листом.

### 3.6.2. Расчет дозы и времени облучения с помощью системы дозиметрического планирования (1 этап)

*Содержание этапа:*

В системе планирования создается водный фантом необходимого размера (например, куб  $30 \times 30 \times 30$  см), выбирается используемый клинически алгоритм расчета дозы и проводится расчет времени облучения в референсной геометрии (фактическое значение РИО ГТА, угол поворота гантри –  $0^\circ$ , размер поля –  $10 \times 10$  см). Значение дозы 2 Гр предписывается в точку, находящуюся в центре на референсной глубине ( $d = 10$  см). Рассчитанное значение времени облучения заносится в соответствующую графу Рабочего листа (приложение Д).

*Очередность действий по шагам:*

1. Осуществить вход в ПО для расчета планов облучения (СДП), установленное в клинике. Права доступа должны соответствовать правам медицинского физика и позволять проводить расчет поглощенной дозы (выполняется совместно с ответственным медицинским физиком отделения).

2. Создать водный фантом в виде куба размером  $30 \times 30 \times 30$  см. Альтернативно возможно загрузить из библиотеки имеющийся фантом или

воспользоваться импортом файла в формате DICOM (выполняется совместно с ответственным медицинским физиком отделения).

3. Перейти в модуль расчета дозы СДП. Выбрать алгоритм расчета, рутинно используемый в клинике для расчета дозы для рассматриваемого пучка. Если таких алгоритмов несколько, то на каждый из них заводится свой рабочий лист (выполняется совместно с ответственным медицинским физиком отделения).

4. Рассчитать необходимое время облучения в созданном/загруженном водном фантоме в референсной геометрии (фактическое значение РИО ГТА, угол поворота гантри –  $0^\circ$ , размер поля –  $10 \times 10$  см). Предписать дозу 2 Гр в референсную точку на центральной оси пучка в изоцентре на глубине 10 см. Геометрия показана на рис. 1 (выполняется совместно с ответственным медицинским физиком отделения).

5. Внести значение предписанной дозы и рассчитанного значения времени облучения в соответствующую графу Рабочего листа (приложение Д).

### **3.6.3. Измерение поглощенной дозы в водном фантоме на аппарате (2 этап)**

#### *Содержание этапа:*

Измерение поглощенной дозы проводится ионизационной камерой в водном фантоме в геометрии, соответствующей геометрии расчета в СДП на этапе 1 с помощью ионизационной камеры типа Farmer ( $0,6 \text{ см}^3$ ) или эквиваленту. Время облучения соответствует значению, рассчитанному на этапе 1. Работа ведется с помощью рабочего листа (приложение Д) с возможностью автоматизированного расчета. Методика измерений основана на рекомендациях [7].

В процессе измерений определяются следующие параметры:

- температура воды  $T$ ;
- атмосферное давление  $p$ ;
- поправка показаний ионизационной камеры на температуру и давление  $k_{T,p}$ ;
- коэффициент поляризации ионизационной камеры  $k_p$ ;
- коэффициент рекомбинации ионизационной камеры  $k_s$ .

#### *Очередность действий по шагам:*

1. Заполнить необходимые поля рабочего листа: название медицинской организации, дата, информация о пучке (наличие дополнительной коллимации пучка), информация об ионизационной камере, референсная геометрия (РИО, размер поля), рабочее напряжение.

2. Завезти оборудование в каньон. Установить малый водный фантом на терапевтическом столе, провести центрирование и налить воду. Проверить позиционирование фантома в горизонтальной плоскости с помощью уровня и при необходимости провести дополнительную

настройку. Альтернативно возможно использовать большой водный фантом со встроенной системой позиционирования, однако это потребует использования дозиметрического оборудования пользователя и рекомендуется только в исключительных случаях.

3. Установить держатель для ионизационной камеры на фантоме. Поместить ионизационную камеру в держатель и провести ее позиционирование на центральной оси пучка на глубине 10 см. Отрегулировать высоту фантома таким образом, чтобы центр камеры находился в изоцентре аппарата (рис. 1).

4. Провести измерение температуры воды в фантоме с помощью термометра, измерение атмосферного давления с помощью барометра и занести в соответствующие графы Рабочего листа.

5. Установить электрометр в пультовой, подключить установленную ионизационную камеру к электрометру. Включить электрометр, настроить необходимый диапазон и единицы измерения в Гр, полярность, выставить рабочее напряжение, внести коэффициент камеры  $N_{D,w}$ .

6. Открыть рабочую консоль аппарата. Выставить размер поля  $10 \times 10$  см в настройках аппарата.

7. Предварительно облучить ионизационную камеру. Обнулить значение на электрометре.

8. Произвести компенсацию темнового тока электрометра (компенсацию «фона»).

9. При любом измерении дозы проводить повторные измерения до тех пор, пока показания электрометра не выйдут на «плато», то есть при каждом новом измерении показание не будет колебаться вокруг некоего среднего значения в ту и другую сторону.

10. Провести измерения коэффициентов поляризации и рекомбинации, для этого провести измерения на пониженном напряжении и при смене полярности на рабочем напряжении. Занести значения в соответствующую графу Рабочего листа.

11. Провести измерение дозы, заданной в СДП. Убедиться, что камера располагается на глубине 10 см и находится в изоцентре, размер поля  $10 \times 10$  см (рис. 1). Задать на аппарате рассчитанное время облучения из графы «Время из СДП» Рабочего листа и облучить ионизационную камеру. Занести показания в соответствующую графу Рабочего листа.

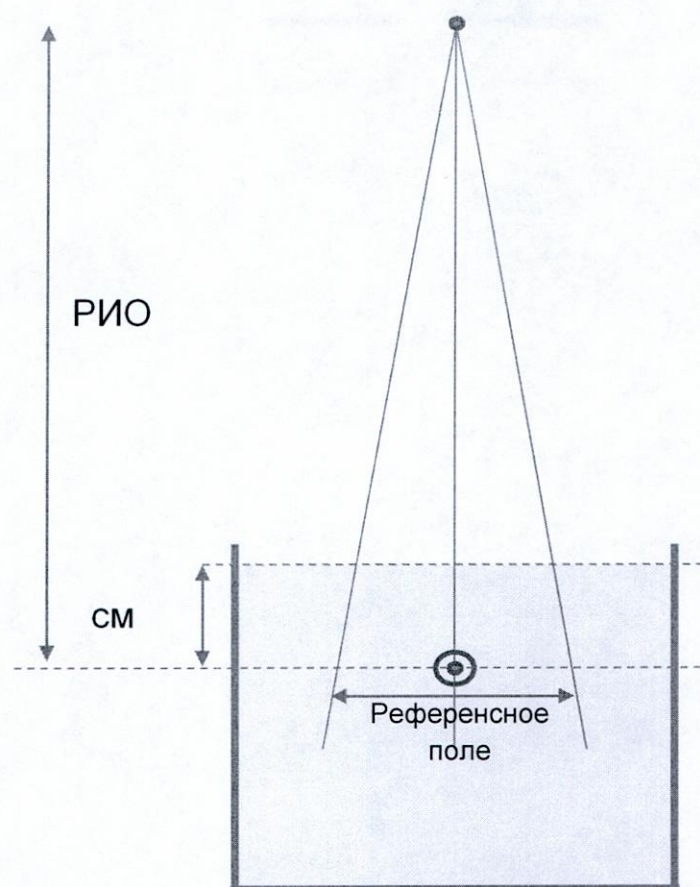


Рисунок 1 – Геометрия проведения измерений

### 3.7. Результаты аудита и анализ

#### 3.7.1. Анализ результатов аудита

Результат аудита определяется путем расчета процентного отклонения измеренной дозы на ГТА ( $D_{\text{изм}}$ ) от дозы, заданной в СДП в референсных условиях ( $D_{\text{сп}}$ ). Расчет проводится в соответствии с формулой 1. Рабочий лист (приложение Д) предусматривает автоматический расчет процентного отклонения при условии заполненных граф «Доза в СДП» и «Измеренная доза». Процентное отклонение  $\Delta$  рассчитывается для каждого пучка, подвергшегося процедуре аудита. Рабочий лист при этом заполняется отдельно для каждого пучка. Неопределенность результата аудита рассчитывается в соответствии с главой 5.7 рекомендаций [7] и включает неопределенность калибровки ионизационной камеры в поверочной лаборатории, а также неопределенность измерений в рабочем пучке  $^{60}\text{Co}$ . Суммарная стандартная неопределенность составляет порядка 1,3 %, однако данное значение зависит от значения неопределенности, указанного в сертификате поверочной лаборатории на ионизационную камеру и рассчитывается непосредственно для используемой ионизационной камеры.

Критерии прохождения аудита представлены в таблице 3. Аудит считается пройденным, если значение  $\Delta$  не превышает 5 %, однако уровень в пределах 3% считается оптимальным. Попадание в диапазон от 3% до 5% говорит о том, что требуется вмешательство со стороны персонала клинки для более точной настройки оборудования, при этом данное отклонение не сказывается на безопасности лечения, а отражается только на его качестве. Допустимый уровень считается превышенным, если отклонение составляет более 5%. В таком случае продолжение лечения данным пучком является небезопасным, и требуется срочное вмешательство для устранения проблемы. Уровень в 5% установлен исходя из статической неопределенности средств и методов измерения, а также алгоритма расчета доз в СДП [7, 8, 9].

Аудит не считается пройденным, если отклонение превышает 5%. Критерием для запроса повторного аудита является полученное значение процентного отклонения  $\Delta$  более 5%. В таком случае отправляется запрос на повторный аудит, и расследуется причина отклонения. Уточняется, когда будет возможно провести внеочередной повторный аудит. Конкретизируется техническая информация касаясь СДП и методики калибровки аппарата для дальнейшей возможности определения причин отклонения.

Расчет процентного отклонения измеренной дозы на ГТА от заданной в СДП дозы (формула 1):

$$\Delta = \left( \frac{D_{\text{сп}} - D_{\text{изм}}}{D_{\text{сп}}} \right) \times 100\% \quad (1)$$

Таблица 3 – Общие критерии прохождения аудита

Результат	Уровень вмешательства	Отклонение $\Delta$ , %
Аудит пройден	1. Оптимальный	$\leq 3$
	2. Требуется вмешательство (лечение безопасно, качество лечения может быть улучшено)	$> 3$ и $\leq 5$
Аудит не пройден, допустимый уровень превышен	3. Требуется вмешательство (лечение небезопасно)	$> 5$

### 3.7.2. Сбор статистики

По завершении визита аудиторской группы в клинику проводится обработка рабочих листов. Необходимая информация из рабочих листов, а также заявок на аудит вносится в электронную базу данных для дальнейшей

возможности обработки статистики. База данных по результатам аудитов представлена в табличном виде и содержит следующие поля:

1. Дата проведения аудита.
2. Полное наименование медицинской организации.
3. Контактная информация ответственного сотрудника клиники.
4. ФИО аудиторов.
5. Наименование, год выпуска, дата установки ГТА.
6. Информация о пучке, наличие дополнительной коллимации.
7. Информация о системе планирования (название, версия, алгоритм).
8. Результат аудита, отклонение в % измеренной дозы от заданной дозы в СДП.
9. Используемый протокол калибровки (проверки) абсолютной дозы.
10. Геометрия при проведении калибровки (проверки) (РИП/РИО).
11. Опорные условия калибровки клинического пучка в СДП.
12. Дата последнего внешнего дозиметрического аудита.
13. Результаты последнего дозиметрического аудита.
14. Возможные проблемы, комментарии.
15. Контактная информация.

### **3.7.3 Статистический анализ результатов аудита**

База данных результатов аудита анализируется с необходимой периодичностью. Определяются основные статистические показатели, такие как: количество клиник, принявших участие в аудите за рассматриваемый период; общее количество проверенных пучков; общее количество и процент пучков, прошедших аудит; распределение результатов по географическому признаку; распределение количества пучков по диапазонам отклонений. Полученные результаты сравниваются с результатами за предыдущие периоды. Проводится определение общего тренда и анализ причин расхождений.

### **3.7.4. Уведомление пользователя**

После проведения анализа результатов аудита формируется уведомление пользователя (приложение Е) и направляется в медицинское учреждение.

Уведомление пользователя представляет собой документ, содержащий информацию о результатах пройденного аудита с указанием процентного отклонения измеренной дозы от дозы, заданной в СДП. Также в уведомлении указывается уровень вмешательства (таблица 3) и наличие или отсутствие факта прохождения аудита. При необходимости запрашивается повторный аудит (см. пункт 3.7.1).

### 3.8. Завершение аудита

По итогам проведенных аудитов выполняется обобщающий анализ. Результаты включаются в общий отчет за установленный отчетный период.

Отчет содержит следующую информацию:

- общее количество заявок;
- общее количество участников аудита (МО);
- общее количество проверенных пучков;
- процент пучков, прошедших аудит;
- количество внеочередных повторных аудитов.

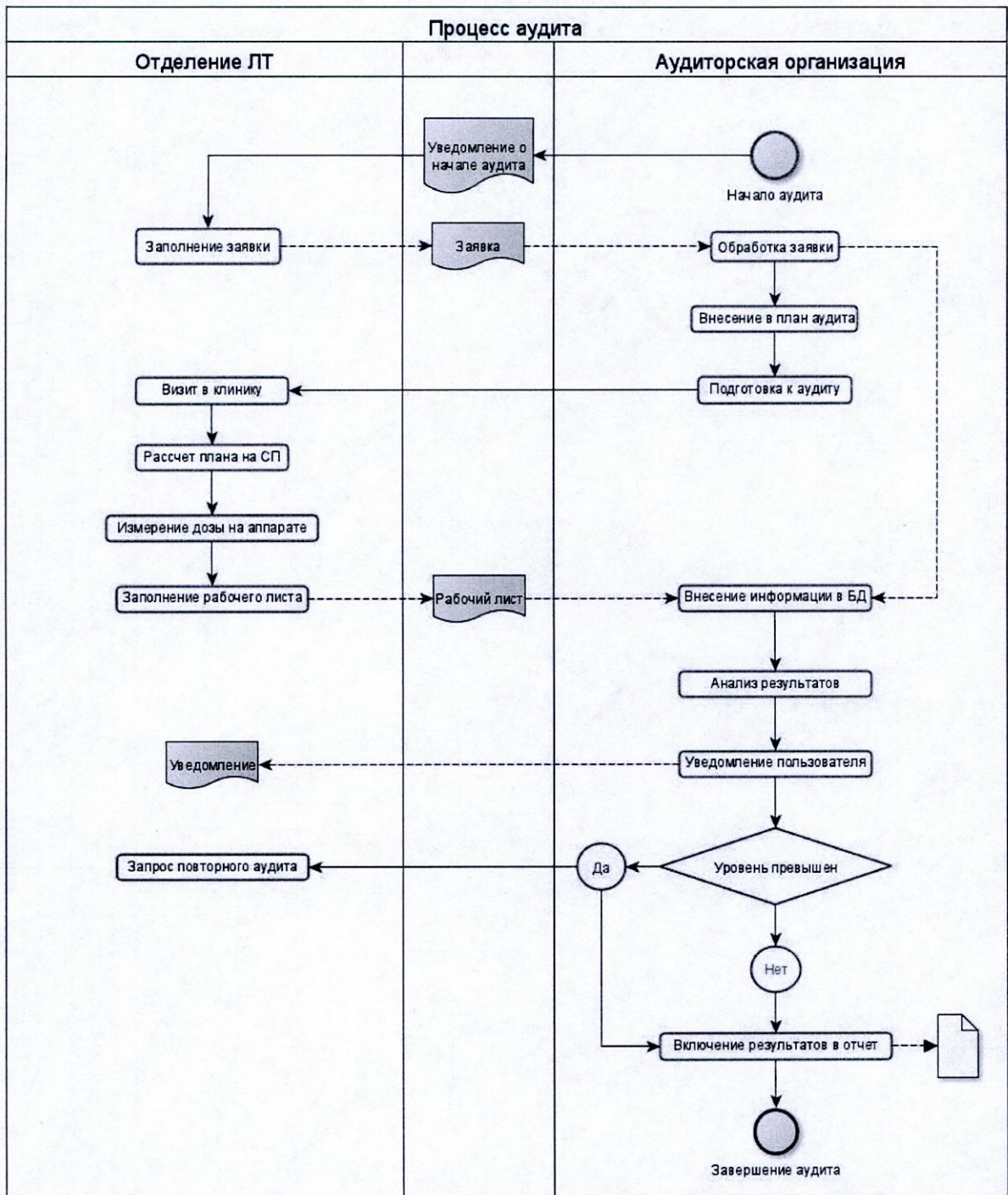
## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Настоящие методические рекомендации являются руководством для реализации процесса внешнего дозиметрического аудита абсолютной калибровки клинических пучков гамма-излучения аппаратов для дистанционной радиотерапии гамма-излучением. Изложенные в них поэтапные действия позволят определить точность подведения абсолютной дозы на ГТА с учетом неопределенностей конфигурации СДП, что наиболее приближено к процессу реального облучения. Проведение анализа результатов аудита и определение основных статистических показателей позволит сделать вывод об общем качестве оказываемых медицинских услуг в области дистанционной радиотерапии на аппаратах  $^{60}\text{Co}$  и при необходимости принять корректирующие меры.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Beam Output Audit (BOA). URL: <https://www.eortc.org/quality-assurance/rtqa/beam-output-audit-boa> (дата обращения: 15.06.2020).
2. Global availability of dosimetry audits in radiotherapy: The IAEA dosimetry audit networks database / J. Izewska, W. Lechner, P. Wesolowska. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.phro.2017.12.002> // Physics and Imaging in Radiation Oncology. 2018. Vol. 5. P. 1–4. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405631617300556> (дата обращения: 15.06.2020).
3. The role of dosimetry audit in achieving high quality radiotherapy / С.Н. Clark, N. Jorret, L. P. Muren. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.phro.2018.03.009> // Physics and Imaging in Radiation Oncology. 2018. Vol. 5. P. 85–87. URL: [https://phiro.science/article/S2405-6316\(18\)30026-5/fulltext](https://phiro.science/article/S2405-6316(18)30026-5/fulltext) (дата обращения: 15.06.2020).
4. Comprehensive audits of radiotherapy practices: a tool for quality improvement: Quality Assurance Team for Radiation Oncology (QUATRO) // IAEA. 2007. URL: [https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1297\\_web.pdf](https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1297_web.pdf) (дата обращения: 17.06.2020).
5. Remote beam output audits: a global assessment of results out of tolerance/ S.F. Kry, С.В. Peterson, R.M. Howell. DOI: 10.1016/j.phro.2018.08.005// Phys. Imaging Radiat. Oncol. 2018. 7. P. 39–44. URL: [https://humanhealth.iaea.org/HHW/MedicalPhysics/elearning/idos2019/articles/Remote\\_beam\\_output\\_audits\\_A\\_global\\_assessment\\_of\\_results\\_out\\_of\\_tolerance.pdf](https://humanhealth.iaea.org/HHW/MedicalPhysics/elearning/idos2019/articles/Remote_beam_output_audits_A_global_assessment_of_results_out_of_tolerance.pdf) (дата обращения: 17.06.2020).
6. On-site Visits to Radiotherapy Centers: Medical Physics Procedures Quality Assurance Team for Radiation Oncology (QUATRO) // IAEA. 2007. TECDOC № 1543. URL: [https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/te\\_1543\\_web.pdf](https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/te_1543_web.pdf) (дата обращения: 25.06.2020).
7. Определение поглощенной дозы при дистанционной лучевой терапии: международные практические рекомендации по дозиметрии, основанные на эталонах единицы поглощенной дозы в воде / рус. версия, пер. С.М. Ватницкого // Серия технических докладов № 398. Вена: МАГАТЭ, 2004. URL: [https://www-pub.iaea.org/mtcd/publications/pdf/trs398r\\_web.pdf](https://www-pub.iaea.org/mtcd/publications/pdf/trs398r_web.pdf) (дата обращения: 15.06.2020).
8. Accuracy Requirements and Uncertainties in Radiotherapy // IAEA human health series. IAEA. 2016. № 31. ISSN 2075–3772. URL: [https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/P1679\\_HH31\\_web.pdf](https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/P1679_HH31_web.pdf) (дата обращения: 16.06.2020).
9. Commissioning and quality assurance of computerized planning systems for radiation treatment of cancer // IAEA. Technical reports series. 2004. № 430. ISSN 0074–1914. URL: [https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/TRS430\\_web.pdf](https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/TRS430_web.pdf) (дата обращения: 20.06.2020).

**БЛОК-СХЕМА ПРОЦЕССА АУДИТА**



## ЗАЯВКА

### на участие во внешнем дозиметрическом аудите абсолютной калибровки клинических пучков гамма-излучения ГТА

1. Полное наименование медицинской организации \_\_\_\_\_
2. ФИО контактного лица \_\_\_\_\_
3. Должность контактного лица \_\_\_\_\_
4. Контактный телефон \_\_\_\_\_
5. Дата заполнения \_\_\_\_\_
6. Количество пучков, запрашиваемых для аудита с указанием их  
технических параметров (коллимация, система дозиметрического планирования)
  1. \_\_\_\_\_
  2. \_\_\_\_\_
  3. \_\_\_\_\_
  4. \_\_\_\_\_
  5. \_\_\_\_\_
  6. \_\_\_\_\_
  7. \_\_\_\_\_
  8. \_\_\_\_\_
  9. \_\_\_\_\_
  10. \_\_\_\_\_
7. Удобная дата для проведения аудита \_\_\_\_\_

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ПРИЛОЖЕНИЕ К ЗАЯВКЕ НА АУДИТ**

Организация			ФИО					
Дата			Должность					
e-mail			Телефон					
<b>Параметры ГТА с пучками, планируемыми к участию в программе аудита (добавьте строки, если не хватает)</b>								
	Производитель	Модель	Год выпуска	Год установки	SN	МЛК	Доп. устройство коллимации	Комментарии
ГТА 1								
ГТА 2								
ГТА 3								
<b>Параметры калибровки времени облучения</b>								Комментарии
Электрометр			Референсная камера					
Фантом			Используемый протокол					
Геометрия калибровки (РИП/РИО)		Глубина расположения детектора, см		Норм-ый коэфф. (сГр / мин)				
<b>Описание систем дозиметрического планирования, используемых клинически (добавьте строки, если не хватает)</b>								
	Производитель	Наименование	Версия	Алгоритмы	Параметры калибровки времени облучения в СП			Комментарии
					Геометрия (РИП/РИО)	Глубина, см	сГр / мин	
СДП 1								
СДП 2								
СДП 3								
<b>Параметры пучков кобальт-60 для участия в программе аудита (добавьте строки, если не хватает)</b>								
	Аппарат	МЛК (при наличии)	Доп. устройство коллимации пучка	Размер реф. поля	СДП	Комментарии		
Пучок 1								
Пучок 2								
Пучок 3								
Пучок 4								
Пучок 5								
Пучок 6								
Пучок 7								
<b>Другие параметры</b>								Комментарии
Дата последнего внешнего доз. аудита								
Результаты последнего доз. аудита								
Общие замечания								

**ПЛАН ДОЗИМЕТРИЧЕСКИХ АУДИТОВ АБСОЛЮТНОЙ  
КАЛИБРОВКИ КЛИНИЧЕСКИХ ПУЧКОВ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ  
ГТА НА ХХХХ ГОД (ФОРМА)**

№	Наименование МО	Оборудование/ характеристики пучка	Сроки проведения			
			Период 1	Период 2	Период 3	Период 4
1.		1. ГТА 1 / пучок 1, пучок 2, ... 2. ГТА 2 / пучок 1, пучок 2, ... 3. ...				
2.						
...						

## РАБОЧИЙ ЛИСТ

(для проведения внешнего дозиметрического аудита абсолютной калибровки клинических пучков гамма-излучения ГТА)

Клиника   
Пучок

Аудитор   
Дата аудита   
Сегодня

РИО =  см  
Реф. поле =  см

Доза в СДП =  2,000 Гр  
Время из СДП =  Мин *Рассчитанное значение*

Ион. Камера	<input type="text"/>	
T =	<input type="text"/>	°C
p =	<input type="text"/>	гПа

Параметр	Значение	Комментарии
Напряжение, В	<input type="text"/>	Выбор напряжения
Глубина, см	10,0	Глубина расположения камеры
Измерения, Гр	<input type="text"/>	Измерение 1
	<input type="text"/>	Измерение 2
	<input type="text"/>	Измерение 3
	<input type="text"/>	Измерение 4
	<input type="text"/>	Измерение 5
<b>Результаты</b>		
k <sub>Tr</sub>	<input type="text"/>	
k <sub>pol</sub>	<input type="text"/>	
k <sub>s</sub>	<input type="text"/>	
Изм. доза, Гр	<input type="text"/>	
Отклонение, %	<input type="text"/>	

## ШАБЛОН УВЕДОМЛЕНИЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ О РЕЗУЛЬТАТАХ ПРОЙДЕННОГО АУДИТА

**Результаты внешнего дозиметрического аудита абсолютной калибровки  
клинических пучков гамма-излучения ГТА**

*Дата проведения аудита:*

*Медицинская организация:*

*Аудит провели:*

№	Пучок	Аппарат	Заданная доза в СДП, Гр	Измеренная доза, Гр	Отклонение $\Delta$ , % *	Неопределенность, % **
1						
...						

---

\* Процентное отклонение измеренной дозы на ГТА от заданной в СДП дозы  $\Delta = \left( \frac{D_{сп} - D_{изм}}{D_{сп}} \right) \times 100\%$ .

\*\* Суммарная стандартная неопределенность  
 $\Delta \leq 3\%$  – аудит пройден, отклонение в пределах нормы.  
 $3\% < \Delta \leq 5\%$  – аудит пройден, требуется дополнительная настройка параметров оборудования для повышения качества лечения.  
 $\Delta > 5\%$  – аудит не пройден, продолжение лечения может быть небезопасным, требуется срочное вмешательство для устранения проблемы. Рекомендовано прохождение повторного аудита.

*(Нужное выделить рамкой.)*