

На сегодняшний день невозможно разработать универсальную программу гарантии качества для всех радиологических линейных ускорителей. Это связано с разнообразием систем и устройств, входящих в каждый линейный ускоритель. На практике важно разработать систему тестов для каждого радиологического комплекса. Использование абсолютной дозиметрии наиболее глубоко решает данную проблему. Однако, существующие технические решения не позволяют с высокой точностью и достоверностью реализовать дозовые распределения в эквивалентных объемах, таких как органы грудной клетки и абдоминальные структуры.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Тарутин, И. Г. Применение линейных ускорителей электронов в высокотехнологичной лучевой терапии Издательский дом «Беларускаянавука» / И. Г. Тарутин, Е. В. Титович. Минск :Беларускаянавука, 2015. – 175 с
2. Тарутин, И. Г. Высокотехнологичная лучевая терапия Издательский дом «Беларускаянавука» / И.Г. Тарутин, И.И. Минайло. Минск :Беларускаянавука, 2013. – 163 с
3. Тарутин, И. Г. Радиационная защита в лучевой терапии / И. Г. Тарутин, Е. В. Титович, Г. В. Гацкевич. – Минск :Беларускаянавука, 2015. – 212 с.
4. Медицинские приборы. Разработка и Применение. М. : Медицинская книга, 2004. – 720 с.
5. Тарутин, И. Г. Применение линейных ускорителей электронов в высокотехнологичной лучевой терапии /И. Г. Тарутин, Е.В. Титович. – Минск :Беларускаянавука, 2015. – 175 с

## ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ АБСОЛЮТНОЙ ДОЗИМЕТРИИ OVERVIEW OF MODERN METHODS OF ABSOLUTE DOSIMETRY

**М. Н. Петкевич<sup>1,2</sup>, И. Н. Чиркова<sup>1,2</sup>, Т. С. Чикова<sup>1,2</sup>**  
**M. N. Petkevich<sup>1,2</sup>, I. N. Chirkova<sup>1,2</sup>, T. S. Chikova<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>Белорусский государственный университет, БГУ, г. Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ, г. Минск, Республика Беларусь  
kfm@iseu.by, cookiebad@outlook.com

<sup>1</sup>Belarusian State University, BSU, Minsk, Republic of Belarus

<sup>2</sup>International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus

Контроль качества характеристик линейных ускорителей для лучевой терапии является ключевым элементом радиационной защиты пациентов. Он включает систему организованных мероприятий, технических средств и технологических процедур для поддержания на оптимальном уровне рабочих характеристик оборудования, а также режимов лечения. Выполнен обзор современных методов абсолютной дозиметрии. Показано, что наиболее эффективными устройствами для абсолютной дозиметрии являются тканеэквивалентные водные фантомы. Проанализированы водные фантомы BluePhantom SMARTSCAN и BluePhantom Compact, используемые в Государственном учреждении «Республиканский научно-практический центр онкологии и медицинской радиологии им. Н.Н. Александрова». Показано, что использование абсолютной дозиметрии на оборудовании типа водных фантомов в наибольшей мере позволяет решать проблему разработки системы тестов для радиологического комплекса на базе линейного ускорителя.

Quality control of the characteristics of linear accelerators for radiation therapy is a key element of radiation protection of patients. It includes a system of organized events, technical means and technological procedures to maintain the optimal level of equipment performance, as well as treatment regimens. The review of modern methods of absolute dosimetry is carried out. It is shown that the most effective devices for absolute dosimetry are tissue-equivalent water phantoms. The water phantoms Blue Phantom SMARTSCAN and Blue Phantom Compact used in the State Institution «N. N. Alexandrov National Cancer Center of Belarus» are analyzed. It is shown that the use of absolute dosimetry on equipment such as water phantoms makes it possible to solve the problem of developing a test system for a radiological complex based on a linear accelerator to the greatest extent.

**Ключевые слова:** лучевая терапия, линейный ускоритель электронов, программа гарантии качества, абсолютная дозиметрия, водный фантом.

**Keywords:** radiation therapy, radiation therapy, linear electron accelerator, quality assurance program, absolute dosimetry, water phantom.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2022-2-233-236>

Медицинский линейный ускоритель электронов – это радиотерапевтический комплекс, который используется для оказания помощи пациентам с онкологическими заболеваниями в лучевой терапии. Основной тенденцией в современном развитии технического обеспечения лучевой терапии является интенсивный отказ от применения дистанционных гамма-терапевтических аппаратов с источниками излучения кобальта-60 и переход на использование линейных ускорителей электронов. Ежегодно в мире выпускаются сотни медицинских ускорителей различного назначения, обладающих уникальными характеристиками пучков фотонов и электронов. Именно эта уникальность позволила существенно снизить объемы облучения нормальных тканей и дозы в них. Только на ускорителях удалось реализовать такие высокотехнологичные методы лучевой терапии, как конформное облучение, терапия с модулированной интенсивностью излучения, стереотаксическая терапия малых мишеней в головном мозге и в теле пациента, облучение, синхронизированное с дыханием пациентов, и некоторые другие виды терапии [1].

Контроль качества характеристик линейных ускорителей, на которых происходит лечение пациентов, является ключевым элементом радиационной защиты. Под контролем качества понимается система организованных мероприятий, технических средств и технологических процедур для количественного определения, мониторинга и поддержания на оптимальном уровне рабочих характеристик оборудования, а также режимов лечения [2].

Контроль дозиметрических параметров (измерения) является важным этапом предлучевой подготовки и лучевой терапии. Измерения, связанные с получением пространственных распределений поглощенной дозы в различных клинических условиях, принято называть относительными дозовыми распределениями. Такая терминология объясняется тем, что для обеспечения высокой точности эти данные нормируются на результаты абсолютных измерений поглощенной дозы в стандартных условиях.

Существенное отличие относительных измерений поглощенной дозы от абсолютных состоит в том, что они выполняются в большом количестве точек и в разных ситуациях. Поэтому в большинстве случаев наиболее удобным устройством для относительных измерений является водный фантом, в котором положением детектора управляет компьютер, а измерение в каждой точке занимает не больше секунды.

Процентная глубинная доза (PDD) является одной из фундаментальных характеристик, описывающих пучок излучения и представляет собой отношение поглощенной дозы на оси пучка на разных глубинах к максимальному значению дозы на оси. PDD детально измеряют для открытых пучков с разными размерами квадратных поперечных сечений и для различных модифицирующих пучок устройств.

Второй важной характеристикой пучков является внеосевое отношение (OAR) или профиль пучка. Она представляет отношение поглощенных доз на разных расстояниях от геометрической оси пучка к дозе на оси пучка в плоскости перпендикулярной к оси пучка. Учитывая большой градиент дозового распределения в области тени, при измерении OAR целесообразно применять детекторы с малыми объемами, как например, полупроводниковые диоды или алмазные детекторы.

Следующей фундаментальной величиной является выходной фактор (FOF), который представляет мощность поглощенной дозы (или дозу на одну мониторинговую единицу), создаваемую в определенной точке на оси пучка в водном фантоме (но ниже глубины максимальной дозы), для разных размеров квадратного поля. Обычно FOF определяется в относительных единицах, равных отношению FOF для данного размера поля к FOF для опорного (референсного) поля, размеры которого  $10 \times 10$  см<sup>2</sup>. Значения FOF монотонно увеличивается с увеличением размера поля.

Метод дозиметрических измерений, который используется в дистанционной лучевой терапии и предусматривает определение абсолютной поглощенной дозы в воде для фотонов, электронов или протонов называется абсолютной дозиметрией. Она проводится с применением образцового дозиметра с целью аттестации радиотерапевтических аппаратов после их приемочных испытаний или ремонта [5-6].

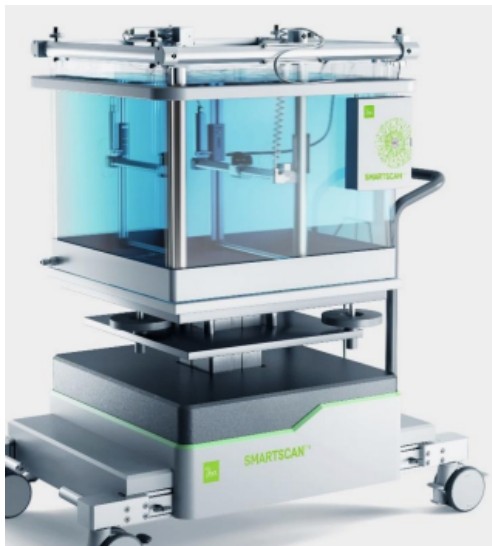
Наиболее современными устройствами для абсолютной дозиметрии являются тканезэквивалентные водные фантомы. Такое оборудование имеет огромную практическую ценность в области гарантии качества лучевой диагностики и лучевой терапии. С помощью фантомов можно получить точные данные о том, как повлияет на пациента радиационный фон диагностического или лечебного оборудования. Тканезэквивалентные фантомы позволяют получить ценную информацию о степени опасного воздействия радиации на человеческий организм, не прибегая к опытам с участием людей. Идеальным средством моделирования человеческого тела служит водная среда. Измеряя уровень излучения в воде, можно прогнозировать степень радиационного облучения пациента на медицинской установке. Высокая проникаемость воды позволяет легко проводить измерения на различных глубинах проникновения излучения.

Исследования с применением тканезэквивалентных фантомов проводятся при тестировании нового оборудования, они также незаменимы для дозиметрического контроля уже работающих установок. Технология позволяет дать гарантию качества и безопасности того или иного медицинского устройства. Водные фантомы используются для проведения приемочных и периодических испытаний рентгенодиагностического оборудования, для проверки безопасности и производительности оборудования, предназначенного для медицинских радиологических исследований. Оборудование применяется для дозиметрических измерений в рентгенодиагностических и рентгенотерапевтических отделениях, в рентгеностоматологических, флюорографических, маммографических кабинетах, в кабинетах компьютерной томографии и смежных помещениях. При выполнении таких измерений фантом устанавливается в то место, где должен находиться человек во время исследований.

В настоящее время в Государственном Учреждении «Республиканский научно-практический центр онкологии и медицинской радиологии им. Н.Н. Александра» активно используется водный фантом компании IBADosimetryGmbH под названием BluePhantomSMARTSCAN (рис.1).

Основные комплектующие части это:

- 3Dводный фантом, включающий резервуар для воды и общий блок управления,
- Электрический подъемный стол,
- Резервуар для воды с двунаправленным насосом,
- Детекторы,
- Датчик.



*Рисунок 1 – Водный фантом BPSMARTSCAN на электрическом подъемном столе*

Вторым по частоте использования в пределах отделения по инженерному обеспечению лучевой терапии в Государственном Учреждении «Республиканский научно-практический центр онкологии и медицинской радиологии им. Н.Н. Александра» является водный фантом BluePhantomCompact (рис.2).

Данный прибор является устройством для измерения и анализа поля излучения медицинских линейных ускорителей. BluePhantomCompact состоит из двухмерного сервоблока (резервуар с механизмами), блока управления с интегрированным двухканальным электрометром и двух отдельных детекторов (ионизационные камеры или диоды). Детекторы, предназначенные для применения в сочетании с BluePhantomCompact, являются одиночными полупроводниковыми детекторами, цилиндрическими и плоскопараллельными ионизационными камерами. На горизонтальной оси могут быть установлены держатели для различных детекторов на скользящих креплениях. Детектор поля можно перемещать для измерения как горизонтальных, так и вертикальных пучков.



*Рисунок 2 – Водный фантом Blue Phantom Compact*

Двигатели для перемещения по двум осям (рис.3), снабженные бесконтактными абсолютными датчиками линейного перемещения, действующими по принципу магнитострикционного измерения измеряющими текущее положение в режиме реального времени.

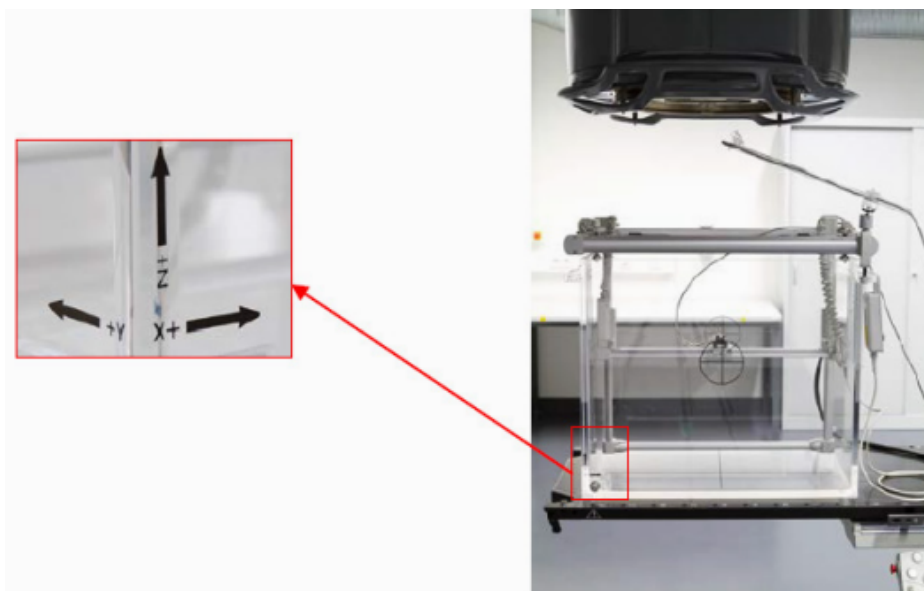


Рисунок 3 – Система координат сервоприводаводногофантамаBluePhantomCompact

BluePhantomCompact является компактным портативным устройством для контроля качества медицинского излучения. Его комплектация позволяет оперативно производить еженедельные и ежеквартальные дозиметрические проверки на линейных ускорителях.

В тоже время BluePhantomSMARTSCAN отличается более весомыми габаритами и точностью настройки. Для его установки, работы требуются большие энергозатраты, соответственно используется этот фантом при дозиметрических измерениях во время ввода нового оборудования в эксплуатацию, а также при годовых проверках контроля качества. Большим преимуществом BluePhantomSMARTSCAN является возможность получения дозного профиля-распределение дозы в пространстве [3].

На сегодняшний день невозможно разработать универсальную программу гарантии качества для всех радиологических линейных ускорителей. Это связано с разнообразием систем и устройств, входящих в каждый линейный ускоритель. На практике важно разработать систему тестов для каждого радиологического комплекса. Использование абсолютной дозиметрии на оборудовании типа водных фантомов наиболее близко подходит к решению данной проблеме и способствует указанию высокого уровня медицинской помощи пациентам с онкологическими заболеваниями [4].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Тарутин, И. Г. Применение линейных ускорителей электронов в высокотехнологичной лучевой терапии Издательский дом «Беларускаянавука» / И. Г. Тарутин, Е. В. Титович. Минск :Беларускаянавука, 2015. – 175 с.
2. Тарутин, И. Г. Высокотехнологичная лучевая терапия Издательский дом «Беларускаянавука» / И.Г. Тарутин, И.И. Минайло. Минск :Беларускаянавука, 2013. – 163 с
3. Тарутин, И. Г. Радиационная защита в лучевой терапии / И. Г. Тарутин, Е. В. Титович, Г. В. Гацкевич. – Минск :Беларускаянавука, 2015. – 212 с.
4. Медицинские приборы. Разработка и Применение. М. : Медицинская книга, 2004. – 720 с.
5. Близнюк, У. А. Клиническая дозиметрия : Учеб. пособие / У. А. Близнюк, Е. Н. Лынькова – М.: ООП физического факультета МГУ, 2019. – 45 с.
6. Лебеденко И. М. Методическое пособие по определению поглощенной дозы при дистанционной лучевой терапии для энергий фотонного (1-500 МэВ) и электронного излучения (4-50 МэВ) / И. М. Лебеденко, Т.А. Крылова. – М. : РОНЦ им. Н.Н.Блохина, 2011. – 34 с.