

# МАТРИЧНЫЕ ДЕТЕКТОРЫ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ

## MATRIX IONIZING RADIATION DETECTORS USED IN RADIATION THERAPY

**И. Н. Чиркова<sup>1,2</sup>, М. Н. Петкевич<sup>1,2</sup>, Т. С. Чикова<sup>1,2</sup>**

**I. N. Chirkova<sup>1,2</sup>, M. N. Petkevich<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

Лучевая терапия злокачественных новообразований способна вызвать у пациентов лучевые реакции и осложнения со стороны нормальных тканей. Главное требование к радиационной защите пациентов состоит в максимально возможном снижении дозы в нормальных органах и тканях, окружающих мишень. Другое требование к оказанию медицинских услуг высокого уровня качества – установление в клиниках системы гарантии качества лучевой терапии. В статье выполнен обзор современных матричных детекторов ионизирующего излучения, применяемые в лучевой терапии. Рассмотрен принцип работы матричных детекторов, получивших широкое применение на современных медицинских линейных ускорителях электронов. Показано, что важным этапом программы контроля качества лучевой терапии являются использование матричных детекторов для оценки дозового распределения в теле пациента, положения пациента на лечебном столе и при оценке дозиметрических параметров радиотерапевтического аппарата.

Radiation therapy of malignant neoplasms can cause radiation reactions and complications from normal tissues in patients. The main requirement for radiation protection of patients is the maximum possible dose reduction in normal organs and tissues surrounding the target. Another requirement for the provision of high-quality medical services is the establishment of a quality assurance system for radiation therapy in clinics. The article provides an overview of modern matrix detectors of ionizing radiation used in radiation therapy. The principle of operation of matrix detectors, which have been widely used on modern medical linear electron accelerators, is considered. It is shown that an important stage of the radiation therapy quality control program is the use of matrix detectors to assess the dose distribution in the patient's body, the patient's position on the treatment table and when evaluating the dosimetric parameters of the radiotherapy apparatus.

*Ключевые слова:* лучевая терапия, линейный ускоритель электронов, программа гарантии качества, детектор ионизирующего излучения, матричный детектор.

*Keywords:* radiation therapy, linear electron accelerator, quality assurance program, ionizing radiation detector, matrix detector.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2022-2-230-233>

Лучевая терапия злокачественных новообразований отличается от других видов медицинского облучения высокими значениями поглощенной дозы, способными вызвать у пациентов как стохастические, так и детерминированные эффекты – лучевые реакции и осложнения со стороны нормальных тканей. В отличие от диагностического облучения пациентов в лучевой терапии нельзя просто уменьшить поглощенную дозу, что связано с необходимостью достижения канцероцидного эффекта в опухолевом очаге или мишени. Поэтому главным требованием к радиационной защите пациентов является максимально возможное снижение дозы в нормальных органах и тканях, окружающих мишень. Вторым требованием является обязательное установление в клиниках системы гарантии качества лучевой терапии. От выполнения этого требования непосредственно зависит уровень качества оказываемых медицинских услуг.

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].

Для обеспечения высокого уровня лучевого лечения пациентов, необходимо производить контроль всех параметров радиотерапевтических аппаратов, планирующих систем и вспомогательных устройств, и приспособлений, которые применяются для радиотерапии. С этой целью разрабатываются и внедряются программы гарантии качества медицинского оборудования. Учитывая разнообразие радиологических систем и входящих в них компонентов, невозможно разработать единую универсальную программу гарантии качества, подходящую к каждому радиологическому отделению. В связи с этим в последнее время получили широкое распространение локальные программы гарантии качества для обеспечения нужд конкретного отделения лучевой терапии [2].

Гарантия качества лучевой терапии представляет собой систему мероприятий, направленных на соблюдение качества технологического процесса лучевого лечения на всех его этапах. При этом исключительно важным становится контроль качества применяемого оборудования: медицинских ускорителей электронов, систем планирования облучения, рентгеновских симуляторов и др. Контроль качества оборудования, применяемого в лучевой терапии, является ключевым элементом оптимизации радиационной защиты пациентов. С точки зрения контроля качества работы наиболее сложными являются современные ускорители электронов. Особое значение здесь имеет контроль тех параметров, которые влияют на величину и распределение поглощенной дозы в мишени и во всем теле пациента [5].

Важным этапом программы контроля качества лучевой терапии являются дозиметрические измерения.

Следует подчеркнуть, что реализация современных методик лучевой терапии невозможна без использования электронных средств получения, обработки и хранения дозиметрической информации. Так, перед лечением пациента по методике модулированной интенсивности излучения, проводится до 9 верификаций планов облучения, рассчитанных на планирующей системе. Программное обеспечение позволяет получать трехмерные распределения дозы с помощью вращающейся матрицы и сравнивать их с рассчитанными дозовыми распределениями.

В лучевой терапии применяется большое многообразие детекторов для оценки дозового распределения в теле пациента, положения пациента на лечебном столе и при оценке дозиметрических параметров радиотерапевтического аппарата. В данной статье авторами произведен обзор и рассмотрен принцип работы матричных детекторов, которые получили широкое применение на современных медицинских линейных ускорителях электронов [3].

Детекторами ионизирующих излучений называют устройства, предназначенные для обнаружения излучений и частиц, определения состава излучения и измерения его энергетического спектра. Для реализации детекторов используют различные эффекты, возникающие при взаимодействии излучения с веществом. В общем случае, детектор ионизирующих излучений можно считать устройством, на вход которого поступают частицы, а на выходе регистрируются сигналы. Для детекторов характерны выходные сигналы в виде импульсов тока, вспышек света и др. [4].

Матричный детектор имеет сложную многослойную структуру, включающую следующие слои (рис. 1):

- |                              |                                    |
|------------------------------|------------------------------------|
| 1 – медная пластина;         | 5 – считывающая матрица фотодиода; |
| 2 – антиотражающая пластина; | 6 – антиотражающая пластина;       |
| 3 – сцинтиллятор;            | 7 – алюминиевая пластина;          |
| 4 – защитная пленка;         | 8 – свинцовая пластина.            |



Рисунок 1 – Последовательное расположение пластин в матричном детекторе

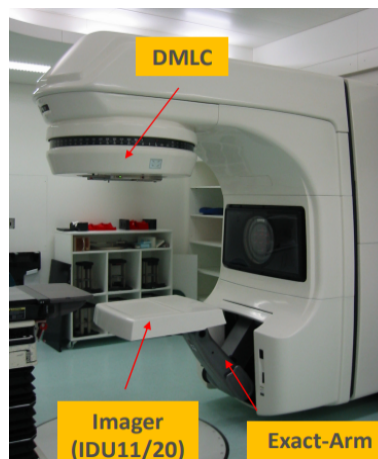


Рисунок 2 – Линейный ускоритель, оснащенный матрицей для регистрации изображений, где DMLC- динамический мультилепестковый коллиматор, Exact-Arm-выдвижная рука для матрицы, Imager- матрица для приема сигнала, который в последствие будет преобразован в изображение

Матричный детектор прикреплен к облучателю (гентри) линейного ускорителя при помощи подвижного механизма, который выдвигает матрицу (портал) в необходимое для проведения измерений положение с ручного

пульта управления, либо с консоли оператора (рис 2). На рисунке 2 изображен пример линейного ускорителя, оборудованного матричным детектором, на рисунке 3 показан физический принцип работы матричного детектора.

Матричные детекторы используются для перевода рентгеновского (фотонного) излучения в свет (непрямое преобразование) или заряд (прямое преобразование). Детекторы с непрямым преобразованием используют сцинтиллятор для трансформации рентгеновских лучей в свет перед трансформацией в электрический заряд для последующего считывания. Принцип состоит в адсорбции на медной пластине испускаемых линейным ускорителем фотонов частично с испусканием электронов по законам Комптоновского (фотоэлектрического) эффекта. Сцинтилляционная пластина преобразует электроны в световые фотоны. Далее происходит процесс рассеяния световых фотонов, которые в свою очередь попадают на фотодиод. Каждый фотодиод представляет один пиксель и производит электрический заряд, который считывается в цифровом виде. Алюминиевая и свинцовая пластины в матрице выполняют функцию щита от обратного рассеивания. В свою очередь отражающая пластина не позволяет оптическим фотонам отражаться от слоев поверхности (рис.3).

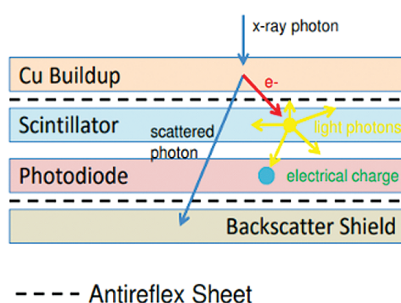


Рисунок 3 – Физический принцип работы матричного детектора

Современные медицинские ускорители представляют собой комплексные устройства для оказания медицинской помощи пациентам с онкологическими заболеваниями. Контроль дозиметрических параметров является частью гарантии качества лучевой терапии. По этой причине онкологические диспансеры должны быть оборудованы современными средствами дозиметрического контроля.

Ведущее место в парке линейных ускорителей в Республике Беларусь занимают модели мировых производителей, таких как Electa, Inc., США и VarianMedicalSystems, Inc., США. Современные модели укомплектованы системой портального получения изображений.

На линейных ускорителях Electa, Inc., США матрица носит название iViewGT и представляет собой электронное устройство формирования портальных изображений (EPID). Эти изображения используются для проверки правильности положения пациента до, во время и после облучения. Полученные изображения можно просматривать в системе или экспортировать в системы сторонних производителей. Внешний вид и расположение портальной матрицы может отличаться в зависимости от модели линейного ускорителя. В большинстве случаев, в процедурном кабинете имеется панель детектора и ручной пульт управления системой iViewGT, которые входят в состав оборудования. Панель детектора расположена напротив гентри ускорителя на барабане гентри. Для получения изображения необходимо выдвинуть панель детектора с помощью ручного пульта управления системой. В пультной комнате имеется система управления и функциональная клавиатура, которые используются для запуска МВ-излучения вручную и получения изображений. Когда система не используется, панель детектора возвращают в исходное положение при помощи функциональной клавиатуры. Изображения с фотодиодной матрицы считываются программным обеспечением, которое обрабатывает, сохраняет их и выводит на экран.

Система получения портальных изображений от компании VarianMedicalSystems, Inc имеет схожее строение и обладает следующими преимуществами (рис. 4):

- Позволяет проводить контроль качества предварительной терапии
- Контроль качества работы самого устройства
- Контроль постоянства параметров дозы на выходе
- Имеет функцию последовательной автоматической обработки полей

#### Параметры устройств визуализации PortalVision:

(Более полные спецификации устройств визуализации содержатся в документе RAD10087B)

| Устройство визуализации | Размер поля | Диапазон SID* | Мощность дозы при SID, равном 100 см |
|-------------------------|-------------|---------------|--------------------------------------|
| aS500II                 | 30 x 40 см  | 100 - 180 см  | 50 - 400 ME/мин                      |
| aSI000                  | 30 x 40 см  | 100 - 180 см  | 50 - 800 ME/мин <sup>4</sup>         |
| aSI200                  | 43 x 43 см  | 100 - 180 см  | 50 - 2400 ME/мин <sup>4</sup>        |

\* SID (Source to imager distance) - расстояние от источника до приёмника изображения, устанавливаемое с помощью выносной опоры Exact arm для устройства визуализации

Рисунок 4 – Характеристики портальной матрицы PortalVision компании VarianMedical Systems

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>