

# XIV МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ И МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ «ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ НАУК»

456

## ДОЗИМЕТРИЯ НЕЙТРОННЫХ ПОЛЕЙ ТЕРАПЕВТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА НА БАЗЕ ЦИКЛОТРОНА У-120

А.Д. Южаков

Научный руководитель: к.ф.-м.н. А.Р. Вагнер

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [alx-142@yandex.ru](mailto:alx-142@yandex.ru)

## THE DOSIMETRY OF NEUTRON FIELDS OF THERAPEUTIC COMPLEX BASED ON THE U-120 CYCLOTRON

A.D. Yuzhakov

Scientific Supervisor: candidate of Physical and Mathematical Sciences, A.R. Vagner

National Research Tomsk Polytechnic University,

Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: [alx-142@yandex.ru](mailto:alx-142@yandex.ru)

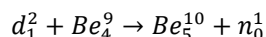
**Abstract.** *In this work, the characteristics of the treat beam's dosimetry of fast neutrons of the U-120 cyclotron have been analyzed with the help of the ionizing method. The fast neutrons with 6, 3 MeV as medium energy have been obtained in coordination of deuterons with the target made of beryllium and are meant to be used for treating the patients with malignant neoplasms. The capacity of the dose in the beam of fast neutrons has been measured by ionization chambers of different types. The research has been done with the consideration of co-occurring gamma rays. The monitoring indices needed for calculation the duration of therapy session at given therapy dose have also been specified.*

**Введение.** В данной работе были исследованы характеристики терапевтического пучка быстрых нейтронов циклотрона У-120 с помощью ионизационного метода. Быстрые нейтроны со средней энергией 6, 3 МэВ, применяемые для лечения пациентов со злокачественными новообразованиями, были получены при взаимодействии дейтронов с мишенью из бериллия. Мощность дозы в пучке быстрых нейтронов была измерена ионизационными камерами различного типа. Исследования проводились с учетом сопутствующего гамма-излучения. Кроме того, были определены мониторинговые коэффициенты, необходимые для расчета продолжительности сеанса терапии при заданной терапевтической дозе.

**Актуальность.** В настоящее время, источники ионизирующих излучений широко применяются во многих областях науки и техники. Одной из областей, в которой они нашли широкое применение, является лучевая терапия злокачественных новообразований. Плотнойонизирующее излучение, в частности, быстрые нейтроны, эффективно используют для лечения пациентов с радиорезистентными злокачественными опухолями [1-3]. Одним из важнейших факторов, обеспечивающих проведение нейтронной терапии, является адекватное дозиметрическое сопровождение метода. Оно является основой для разработки компьютерных программ планирования режимов облучения в нейтронной терапии [4]. Проведение дозиметрического контроля нейтронного излучения осложняется тем, что нейтронный поток в большинстве случаев сопровождается сопутствующим гамма-излучением. Несмотря на то, что нейтронная терапия проводится уже много лет, всё ещё существует необходимость получения более обширной дозиметрической информации о характеристиках терапевтических нейтронных пучков с целью совершенствования методов нейтронной терапии. По этой причине, дозиметрические

исследования характеристик нейтронных пучков, применяемых для терапии онкологических больных, являются актуальными.

**Материалы и методы.** В Томском НИИ онкологии нейтронную терапию проводят на циклотроне У-120 Национального исследовательского Томского политехнического университета. Терапевтический пучок быстрых нейтронов получен посредством бомбардировки бериллиевой мишени дейтронами с энергией 15 МэВ:



Формирование пучка нейтронов осуществляется посредством специального коллиматора, устройство которого показано на рис. 1. Бериллиевая мишень расположена со стороны машинного зала в бетонной стене, которая отделяет процедурное помещение от циклотронного зала. Для формирования прямоугольных полей облучения различных размеров в коллиматоре применяются взаимозаменяемые вставки из полиэтилена. Они позволяют формировать поля размерами от 6х6 см<sup>2</sup> до 15х15 см<sup>2</sup>. Генерируемый терапевтический нейтронный пучок направлен горизонтально.

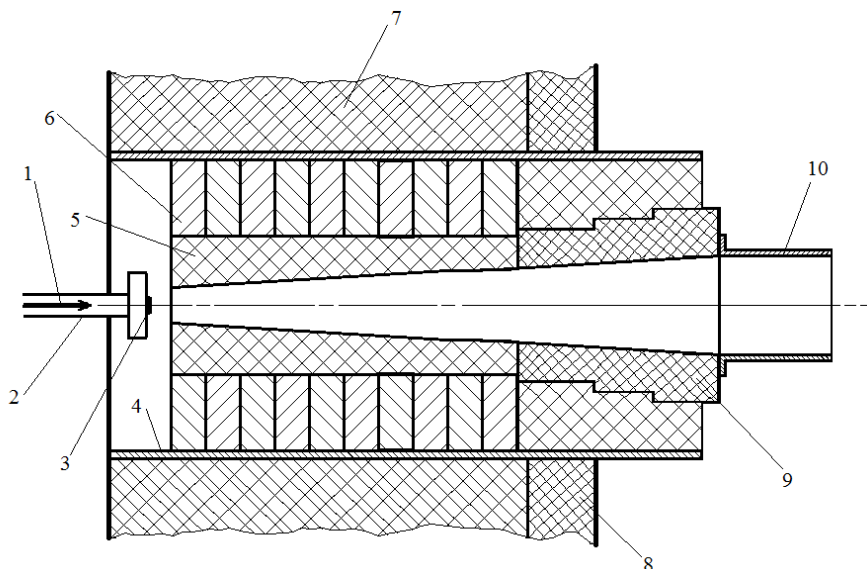


Рис. 1. Устройство для формирования нейтронных полей облучения: 1 - пучок дейтронов; 2 - ионопровод; 3 - мишень; 4 - стальная труба; 5 - полиэтиленовый коллиматор; 6 - стальные диски; 7 - бетонная стена; 8 - полиэтиленовая защита; 9- сменные полиэтиленовые вставки; 10- тубус.

Сопутствующее гамма-излучение образуется в ядерных реакциях при взаимодействии нейтронов с конструктивными элементами формирующего устройства и биологической тканью. В связи с этим, дозиметрические характеристики радиационного поля, в котором находится пациент во время сеанса терапии, были исследованы с помощью ионизационного метода, позволяющего измерить дозы нейтронного и гамма-излучения в отдельности. Данный метод основан на использовании двух ионизационных камер, обладающих различной чувствительностью к нейтронам. Камера, обладающая высокой чувствительностью, изготовлена из полиэтилена, а камера, обладающая низкой чувствительностью – из графита. Камеры были прокалиброваны на пучке гамма-излучения аппарата «Theratron», аттестованном поверочной лабораторией, с применением дозиметра «Dose-1», также имеющего Свидетельство об аттестации. В течение сеанса терапии интенсивность нейтронного пучка может изменяться. В связи с этим, продолжительность сеансов терапии контролируется не по времени, а

согласно показаниям дозиметра – монитора. Для осуществления такого контроля в дозиметрических исследованиях были определены мониторинговые коэффициенты по соотношению:

$$K_M = \frac{D_M}{D_A}, \quad (1)$$

где  $D_M$  и  $D_A$  – показания дозиметра – монитора и дозиметра для определения абсолютных значений нейтронных доз соответственно, полученные в режиме набора дозы за один и тот же интервал времени.

В исследованиях также оценена возможность применения для дозиметрии нейтронов ионизационной камеры 70127, входящей в комплект стандартного клинического дозиметра 27012.

**Результаты.** Измерена мощность тканевой дозы нейтронов, рассчитанная на единицу тока пучка дейтронов циклотрона У-120, которая на расстоянии 1 м от мишени оказалась равной  $\sim 0,5 \frac{\text{сГр}}{\text{мин} \cdot \mu\text{А}}$ . Установлено, что вклад сопутствующего гамма-излучения в суммарную дозу на входе терапевтического пучка в облучаемую ткань составляет  $\sim 10\%$ . Так же было показано, что значение мониторингового коэффициента, определяемого соотношением (1), зависит от площади формируемого терапевтического поля. Проведены измерения распределений дозы фонового нейтронного и гамма-излучения в плоскости торца формирующего устройства в направлении, перпендикулярном оси основного пучка нейтронов, что дает возможность с большей точностью оценить дозу, которую получает всё тело пациента за сеанс терапии. Также показано, что ионизационная камера 70127 обладает достаточно высокой чувствительностью к нейтронному излучению и может быть применена для решения ряда практических задач нейтронной дозиметрии. С помощью ионизационной камеры 70111 измерена мощность дозы от активности, наведенной нейтронным пучком в процедурном помещении и скорость ее уменьшения во времени, что является основой для регламентирования работы персонала при проведении сеансов терапии.

**Выводы.** Получена дозиметрическая информация, позволяющая улучшить качество дозиметрического планирования нейтронной терапии на циклотроне У-120.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мусабаева Л. И., Жогина Ж. А., Слонимская Е. М., Лисин В. А. Современные методы лучевой терапии рака молочной железы. – Томск, 2003. – 200 с.
2. Wagner F. M., Specht H., Loeper-Kabasakal B., Breikreutz H. Современное состояние терапии быстрыми нейтронами // Сибирский онкологический журнал. – 2015. – № 6. – С. 5–11.
3. Мусабаева Л. И., Головков В. М. Терапия быстрыми нейтронами в онкологии // Сибирский онкологический журнал. – 2015. – № 2. – С. 88 – 94.
4. Лисин В. А. Дозиметрическое компьютерное планирование терапии злокачественных опухолей пучком быстрых нейтронов циклотрона У-120 // Мед. радиология и радиационная безопасность. – 1991. – № 1. – С. 26– 28.