



УДК 539.1.06

**ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МОЩНОСТИ ДОЗЫ
ТОРМОЗНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ БЕТАТРОНА ОБЬ-4****SPATIAL DISTRIBUTION OF OB-4 BETATRON BREMSSTRAHLUNG DOSE RATE****¹А.А. Красных, ^{1,2}И.А. Милойчикова, ^{1,3}Ю.М. Черепенников, ¹С.Г. Стучебров
A.A. Krasnykh, I.A. Miloichikova, Yu.M. Cherepennikov, S.G. Stuchebrov**

¹Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Российская Федерация, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30
National Research Tomsk Polytechnic University, Russian Federation, 634050, Tomsk,
Lenin Avenue, 30

²Научно-исследовательский институт онкологии Томского национального
исследовательского медицинского центра Российской академии наук,
Российская Федерация, 634009, г. Томск, пер. Кооперативный, 5
Cancer Research Institute of Tomsk National Research Medical Center of the Russian Academy
of Sciences, Russian Federation, 634009, Tomsk, Kooperativny Street, 5

³Национальный исследовательский Томский государственный университет,
Российская Федерация, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36
National Research Tomsk State University, Russian Federation, 634050, Tomsk,
Lenin Avenue, 36

E-mail: krasnykh@tpu.ru, miloichikova@tpu.ru, yuryche@tpu.ru, stuchebrov@tpu.ru

Аннотация

В статье описан способ измерения дозиметрических характеристик импульсного тормозного излучения бетатрона на примере ускорителя ОБЬ-4. Измерения проводились с использованием термолуминесцентных дозиметров ДТЛ-02 и клинического дозиметра UNIDOS E в комплекте с цилиндрической ионизационной камерой типа 30013 в воздушной среде. По полученным результатам было построено пространственное распределение мощности дозы излучения исследуемого источника. Также экспериментально было определено влияние формы края выходного окна коллиматора на профиль пучка.

Abstract

In the paper a technique for experimental investigation of the pulsed bremsstrahlung dose parameters is described. The dose rate spatial distributions of the pulsed bremsstrahlung generated by betatron OB-4 obtained using the thermoluminescent dosimeters DTL-02 and the clinical dosimeter UNIDOS E with cylindrical ionization chamber type 30013 in the air are demonstrated. The results of the experimental investigation of the generated by betatron bremsstrahlung spatial dose distribution are presented as well as analysis of the influence of the output window edge shape on the beam profile.

Ключевые слова: доза, мощность дозы, импульсное излучение, тормозное излучение, бетатрон, термолуминесцентный дозиметр, цилиндрическая ионизационная камера, коллимация пучка.

Keywords: dose, dose rate, pulsed radiation, bremsstrahlung, betatron, thermoluminescent dosimeter, cylindrical ionization chamber, beam collimation.

Введение

В настоящее время применение ионизирующих излучений является важным инструментом во многих областях народного хозяйства, таких как лучевые терапия и диагностика, неразрушающий контроль качества изделий, стерилизация материалов и других

[1 – 6]. При этом одним из наиболее широко применяющихся типов излучения в лучевой терапии и неразрушающем контроле крупногабаритных и/или сильнопоглощающих объектов является гамма-излучение в широком диапазоне энергий [1, 7]. Основными типами гамма-источников являются изотопные источники и ускорители электронов, где используется тормозное излучение, возникающее при взаимодействии ускоренных частиц с мишенью [1]. Изотопные источники имеют такие преимущества как стабильность интенсивности потока и монохроматичность излучения [8]. Однако такие недостатки, как необходимость организации защиты от излучения [9 – 11] и сложность последующей утилизации [12], зачастую делают источники на базе ускорителей более привлекательными. Линейные ускорители электронов получили широкое распространение при решении таких задач [13], однако циклические ускорители бетатроны также повсеместно используются в силу их простоты и компактности [14, 15].

Целью данной работы является измерение дозиметрических характеристик импульсного тормозного излучения бетатрона ОБЬ-4. Для этого был разработан способ измерения, позволяющий делать соответствующие оценки. В соответствии с разработанным способом было проведено измерение пространственного распределения поля тормозного излучения бетатрона и оценка его равномерности. Кроме этого было проанализировано влияние формы выходного окна коллиматора на профиль поля излучения.

Материалы и методы

Источник излучения

Источником излучения в работе являлся портативный бетатрон ОБЬ-4. Бетатрон ОБЬ-4 сконструирован как импульсный источник тормозного излучения с использованием вольфрамовой мишени толщиной 0,6 мм. Основные параметры бетатрона ОБЬ-4: максимальная энергия ускоренных частиц – 4,0 МэВ; частота следования импульсов – 400 Гц; длительность импульса – 15 мкс [16].

Дозиметрическое оборудование

В силу того, что дозиметрия импульсных источников осложняется недостаточным быстродействием детектирующих устройств, было принято решение проводить предварительные измерения накопительными детекторами. Для первичной оценки дозовых параметров были использованы термолюминесцентные дозиметры ДТЛ-02 с термолюминесцентным материалом LiF: Mg, Ti [17].

Для финальных измерений дозовых характеристик и анализа пространственного распределения поля тормозного излучения бетатрона был использован универсальный клинический дозиметр UNIDOS E в комплекте с цилиндрической ионизационной камерой типа 30013, разработанной для проведения абсолютной дозиметрии фотонных и электронных пучков [18, 19].

Экспериментальная установка

На рис. 1 представлена схема эксперимента. Источник излучения бетатрон ОБЬ-4 (1) находился в свинцовой защите (2). Детектор (3) располагался напротив окна вывода излучения. Измерения проводились в воздушной среде.

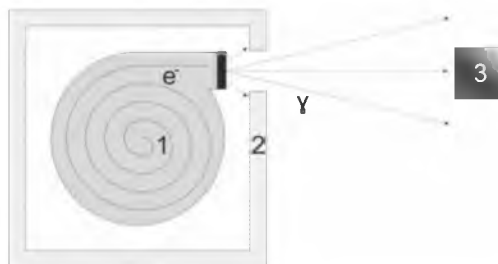


Рис. 1. Экспериментальная схема: 1 – бетатрон ОБЬ-4; 2 – свинцовый домик; 3 – детектор

Fig. 1. Experimental setup: 1 – betatron; 2 – lead shield; 3 – detector



Способ определения мощностей доз от импульсного тормозного излучения бетатрона

В соответствии с геометрией экспериментальной установки, описанной выше, измерение дозы от импульсного тормозного излучения бетатрона проводилось при помощи термолюминесцентных дозиметров ДТЛ-02. Измерения проводились тремя разными термолюминесцентными детектирующими элементами в заданных фиксированных точках относительно источника, после чего из их показаний высчитывалось среднее значение.

Во второй части эксперимента для определения значений дозы и мощностей доз был использован универсальный клинический дозиметр UNIDOS E в комплекте с цилиндрической ионизационной камерой типа 30013. Измерения проводились с использованием специального компенсационного колпачка, позволяющего использовать камеру для работы в воздушной среде. Пределы регистрируемых мощностей доз для выбранного режима работы дозиметра и используемой ионизационной камеры составляют 0,6 мГр/мин – 0,5 Гр/мин [19]. Это минимальные значения для всех режимов работы камеры, и они выше регистрируемых величин. Таким образом, значения доз, полученных за пределами рабочих режимов камеры, являются оценочными.

Также универсальный клинический дозиметр UNIDOS E в комплекте с цилиндрической ионизационной камерой типа 30013 был использован для анализа влияния формы выходного окна коллиматора на профиль поля излучения бетатрона ОБЬ-4 (размер коллиматора 8×8 см²). Схема эксперимента не менялась и была такой же, как представлено на рис. 1. Измерения проводились в плоскости, перпендикулярной к оси распространения ионизирующего излучения. Угловая расходимость пучка сканировалось в диапазоне 70° с шагом 2° – 5° .

Результаты и обсуждения

На рис. 2 представлены пространственные распределения мощностей доз в воздухе, полученные с использованием термолюминесцентных дозиметров ДТЛ-02 и цилиндрической ионизационной камеры типа 30013. Некоторые дозовые характеристики тормозного излучения бетатрона ОБЬ-4 были исследованы ранее, результаты этого исследования представлены в работе [20].

Накопительные дозиметры ДТЛ-02, в соответствии со своими характеристиками, способны работать в режимах, создаваемых импульсным излучением исследуемого бетатрона, однако имеют относительно высокую погрешность измерений. Работа с импульсными источниками может негативно влиять на точность измерений клинического дозиметра, однако, в силу того, что результаты, полученные при помощи термолюминесцентной системы и ионизационной камеры, находятся в хорошем согласии, более подходящей является установка UNIDOS E, так как она имеет большую достоверность измерений. В соответствии с этим, дальнейшая работа проводилась при помощи клинического дозиметра UNIDOS E в комплекте цилиндрической ионизационной камерой типа 30013.

Для анализа влияния формы края коллиматора на профиль пучка использовался пространственный профиль мощности дозы тормозного излучения бетатрона, представленный на рис. 3, измерение которого описано в работе [20]. Измерения проводились при полностью разобранной передней стенке свинцовой защиты со стороны выходного окна бетатрона ОБЬ-4.

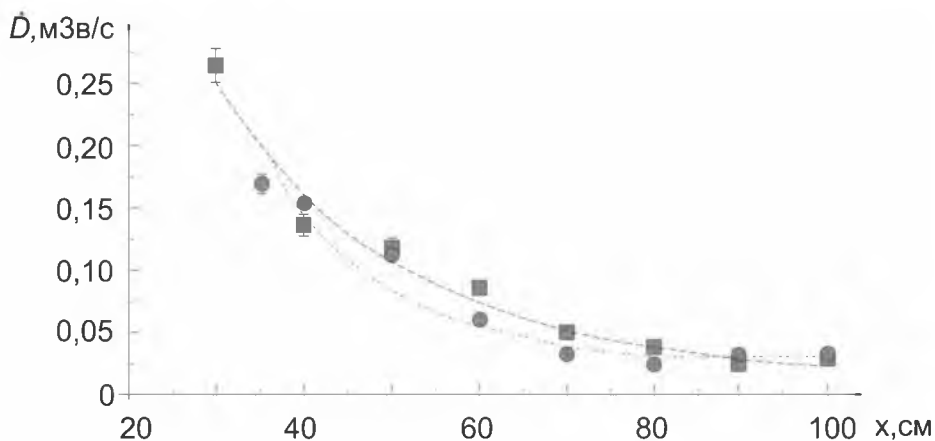


Рис. 2. Пространственное распределение мощности дозы импульсного тормозного излучения бетатрона ОБь-4 в воздухе:

- – результаты, полученные с помощью термолюминесцентных дозиметров ДТЛ-02;
- – аппроксимированные результаты, полученные с помощью термолюминесцентных дозиметров ДТЛ-02;
- – результаты, полученные с помощью цилиндрической ионизационной камеры;
- – аппроксимированные результаты, полученные с помощью цилиндрической ионизационной камеры

Fig. 2. Spatial distribution of OB-4 betatron pulsed bremsstrahlung dose rate in air:

- – value measured by DTL-02 dosimeters;
- – approximated line based on DTL-02 measurements;
- – value, measured by the cylindrical ionization chamber;
- – approximated line based on cylindrical ionization chamber measurements

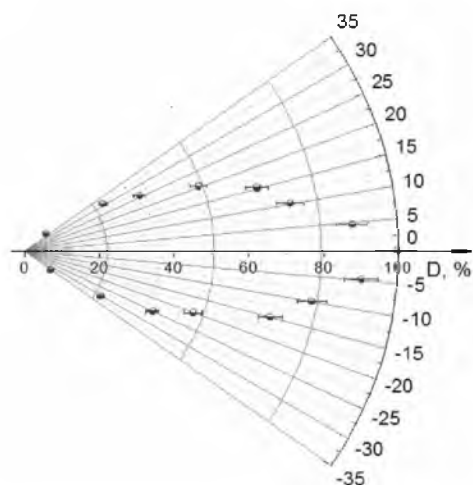


Рис. 3. Пространственный профиль мощности дозы импульсного тормозного излучения бетатрона ОБь-4, полученный с помощью цилиндрической ионизационной камеры

Fig. 3. Angle distribution of OB-4 betatron pulsed bremsstrahlung dose rate measured using cylindrical ionization chamber

Для оценки влияния коллиматора и формы его края на профиль пучка были проведены аналогичные измерения со свинцовой защитой толщиной 10 см с прямоугольным коллиматором размером $8 \times 8 \text{ см}^2$, расположенным на оси пучка. На рис. 4 (а, б, в) представлены формы края коллиматора и соответствующие профили поля излучения.

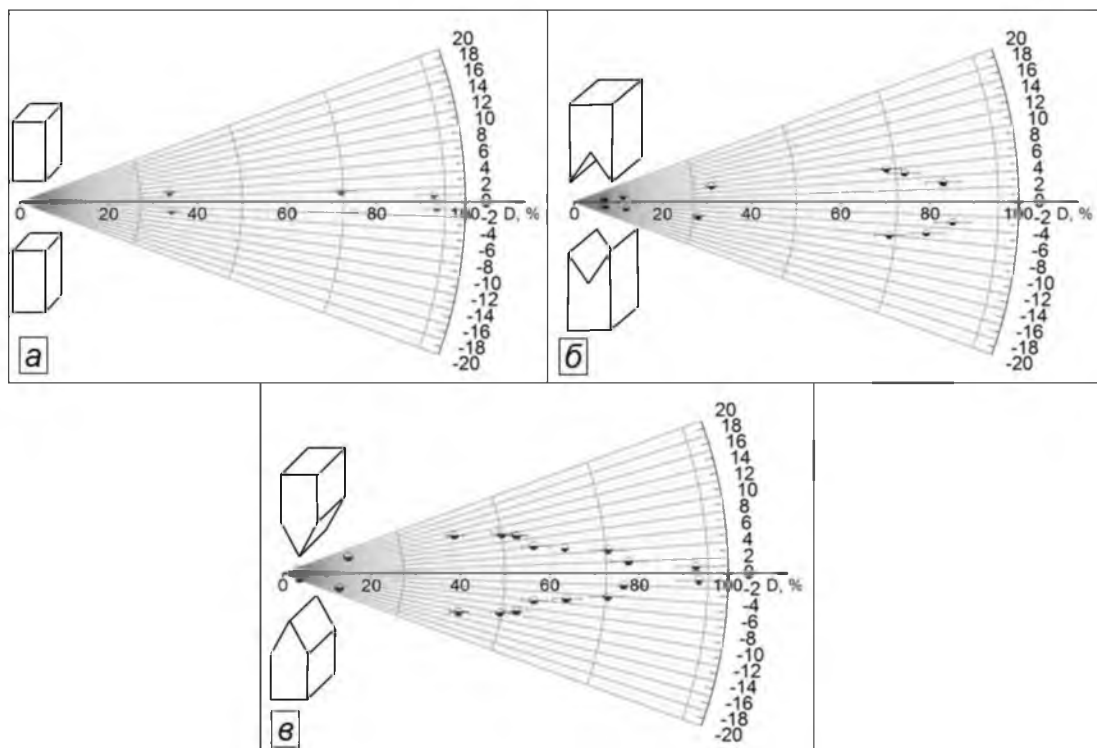


Рис. 4. Формирование дозного поля импульсного тормозного излучения бетатрона ОБЬ-4
 Fig. 4. Forming of dose field OB-4 betatron pulsed bremsstrahlung

Из графиков видно, что при одинаковом размере окна коллиматора профили полей излучения сильно зависят от формы края выходного окна. Это говорит о важности формы края коллимационного окна и точности его изготовления при создании равномерного поля. Дополнительно можно сказать, что такая зависимость может быть использована в случаях, когда необходимо специально создавать неравномерное поле излучения, например, в установках для клинической радиотерапии.

Заключение

В результате работы были оценены дозовые характеристики импульсного гамма источника на базе бетатрона. Определены дозиметрические системы, дающие верные, согласующиеся результаты измерений. При помощи отобранного оборудования получены пространственные распределения поля тормозного излучения бетатрона ОБЬ-4. Кроме этого был проведен анализ влияния формы выходного окна на профильное распределение поля тормозного излучения бетатрона. Показано, что изменяя форму краев коллиматора можно добиться необходимого градиента мощностей доз, что может быть важным при решении некоторых задач, например в области клинической радиотерапии.

Работа выполнена в рамках реализации Программы повышения конкурентоспособности Томского политехнического университета.

Список литературы References

1. Podgorsak E.V. 2005. Radiation oncology physics: a handbook for teachers and students. Vienna, International Atomic Energy Agency, 657.
2. Мусабаева Л.И., Гарбуков Е.Ю., Усова А.В., Фролова И.Г., Старцева Ж.А., Великая В.В., Кучерова Т.Я. 2012. Лучевая реакция молочной железы после органосохраняющей операции,



интраоперационной электронной и дистанционной гамма-терапии. Медицинская радиология и радиационная безопасность, 57(2): 78-82.

Musabaeva L.I., Garbukov E.Yu., Usova A.V., Frolova I.G., Startseva Z.A., Velikaya V.V., Kucherova T.Y. 2012. Radioreaction of the mammary gland after conservative surgery, intraoperative electron radiation therapy and external gamma-beam radiotherapy. Medical Radiology and Radiation Safety, 57(2): 78-82. (in Russian)

3. Gogolev A.S., Stuchebrov S.G., Wagner A.R., Cherepennikov Yu.M., Potylitsyn A.P. 2012. Acoustic "pumping effect" for quartz monochromators. Journal of Physics: Conference Series, 357(1): p. 012031.

4. Купленников Э.Л., Довбня А.Н., Кандыбей С.С., Тутубалин А.И., Красильников В.В. 2012. Нейтроны и онкология. Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Математика. Физика, 29(23(142)): 151–176.

Kuplennikov E.L., Dovbnya A.N., Kandybey S.S., Tutubalin A.I., Krasilnikov V.V. 2012. Neutrons and oncology. Belgorod State University Scientific bulletin. Mathematis & Physis. 29(23(142)): 151–176. (in Russian)

5. Stuchebrov S.G., Verigin D.A., Lukyanenko Y.V., Siniagina M.A., Wagner A.R. 2014. Digital X-ray apparatus based on the scanning X-ray gas-discharge detector for studying of interior structure of biological objects. Advanced Materials Research, 880: 168-173.

6. Чойнзонов Е.Л., Грибова О.В., Старцева Ж.А., Рябова А.И., Новиков В.А., Мусабаева Л.И., Полежаева И.С. 2014. Современный подход к химиолучевой терапии злокачественных глиом головного мозга. Бюллетень сибирской медицины, 13(3): 119–126.

Choinzonov Ye.L., Gribova O.V., Startseva Zh.A., Ryabova A.I., Novikov V.A., Musabayeva L.I., Polezhayeva I.S. 2014. Current approaches to chemoradiotherapy for malignant gliomas. Bulletin of Siberian Medicine, 13(3): 119–126.

7. Стучебров С.Г., Вагнер А.Р., Дусаев Р.Р. 2011. Сравнение параметров цифровых систем рентгенографической диагностики. Известия высших учебных заведений. Физика, 54(11(2)): 300–305.

Stuchebrov S.G., Wagner A.R., Dusaev R.R. 2011. Comparison of the parameters of digital X-ray diagnostic systems, Russian Physics Journal, 54(11(2)): 300–305. (in Russian)

8. Недавний О.И., Осипов С.П. 1994. Методика измерения концентраций трехкомпонентных смесей гамма-абсорбционным способом. Заводская лаборатория, 12: 15–18.

Nedavniy O.I., Osipov S.P. 1994. Measurement technique of the three-component mixtures concentrations by gamma-absorption method. Zavodskaya laboratoriya, 12: 15–18.

9. Radiation Safety in Industrial Radiography. Specific Safety Guide No. SSG-11. Vienna, International Atomic Energy Agency, 2011.

10. Miloichikova I.A., Stuchebrov S.G., Krasnykh A.A., Wagner A.R. 2015. Dose rate spatial distribution produced by the pulsed X-ray source in the radiographic examination. Advanced Materials Research, 1084: 598–601.

11. Radiological protection for medical exposure to ionizing radiation. Safety guide No. RS-G-1.5. Vienna, International Atomic Energy Agency, 2002.

12. Storage of radioactive waste. Safety guide No. WS-G-6.1. Vienna, International Atomic Energy Agency, 2006.

13. Brady L.W., Heilmann H.P., Molls M. 2006. New technologies in radiation oncology. New York, Springer Verlag Berlin Heidelberg, 460.

14. Chakhlov S.V., Kasyanov S.V., Kasyanov V.A., Osipov S.P., Stein M.M., Stein A.M., Xiaoming S. 2016. Betatron application in mobile and relocatable inspection systems for freight transport control. Journal of Physics: Conference Series, 671(1): p. 012024.

15. Kolkooori S., Wrobel N., Deresch A., Redmer B., Ewert U. 2014. Dual high-energy X-ray digital radiography for material discrimination in cargo containers. 11th European Conference on Non-Destructive Testing (ECNDT 2014), 6–10.

16. Паспорт. Индукционный циклический ускоритель ОБЬ-4. Томск, Бетта Плюс, 2010.



Pasport. Induktsionnyy tsiklicheskiy uskoritel' OB-4. Tomsk, Beta Plyus, 2010. (in Russian)

17. Паспорт. ЖБИТ2.805.006РЭ: Дозиметры термолуминесцентные ДТЛ-02. М., Доза, 2012.

Pasport. ZhBIT2.805.006RE: Dozimetry termolyuminescentnye DTL-02. М., Doza, 2012. (in Russian)

18. Instruction manual UNIDOS E PTW - Universal dosimeter D545.131.00/03. Freiburg: PTW, 2007. 102 p.

19. User Manual Ionization Chamber Type 30010, 30011, 30012, 30013 D596.131.00/03 2006-09 Hn. Freiburg: PTW, 2013. 16 p.

20. Stuchebrov S.G., Miloichikova I.A., Danilova I.B. 2016. Measurement technique of dose rate distribution of ionization sources with unstable in time beam parameters. Journal of Physics: Conference Series, 671(1): p. 012057.