

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРА ПОЛЯ И ИЗМЕНЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СПЕКТРА МАЛЫХ ПОЛЕЙ

### DETERMINATION OF THE FIELD SIZE AND CHANGING THE ENERGY SPECTRUM OF SMALL FIELDS

***B. C. Пискунов, С. В. Семёнов, Т. С. Чикова***

***V. S. Piskunov, S. V. Semenov, T. S. Chikova***

*Витебский областной клинический онкологический диспансер,  
г. Витебск, Республика Беларусь  
x\_serg@tut.by*

*Healthcare Institution «Vitebsk Regional Clinical Oncological Center», Republic of Belarus*

Изложены основные определения размера поля и разница между геометрическим и радиационным размерами у малых полей. Описаны изменения в энергетическом спектре фотонов с уменьшением размера поля. Показано, что размер полной ширины на половине максимума (full width at half maximum – FWHM) латерального профиля пучка является наиболее показательным и существенным параметром размера поля для точной дозиметрии малых полей. При описании данных по малым полям рекомендуется указывать как FWHM, так и геометрический размер поля.

The basic definitions of the field size and the difference between the geometric and radiation dimensions of small fields are described. Changes in the energy spectrum of photons with decreasing field size are described. It is shown that the full width at half maximum (FWHM) size of the lateral beam profile is the most indicative and essential parameter of the field size for accurate dosimetry of small fields. When describing data on small fields, it is recommended to specify both the FWHM and the geometric size of the field.

*Ключевые слова:* геометрический размер поля, радиационный размер поля, малые поля, латеральный профиль пучка, коллиматор, линейный ускоритель.

*Keywords:* geometric field size, radiation field size, small fields, lateral beam profile, collimator, linear accelerator.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2022-2-251-254>

В настоящее время благодаря использованию стандартных и дополнительных многолепестковых коллиматоров и лечебных аппаратов нового поколения в дистанционной лучевой терапии растёт использование малых статических полей. Повышается интерес к использованию таких методик облучения, как стереотаксическая радиохирurgia, стереотаксическая лучевая терапия тела, лучевая терапия с модуляцией интенсивности, в которых также широко используются малые поля. Точная дозиметрия малых полей важна при вводе в эксплуатацию линейных ускорителей.

Использование малых полей связано с увеличением неопределённости при проведении клинической дозиметрии. Наблюдаемые дозиметрические погрешности оказывают большее влияние на предполагаемый результат курса лучевой терапии, чем при использовании стандартных радиационных полей. В связи с этим решение проблемы дозиметрии радиационных полей малых размеров, требований к ним и определение физических условий, при которых внешний фотонный пучок может быть обозначен как малое поле является важно научно-практической задачей.

Международная электротехническая комиссия (IEC) предоставляет два различных определения размеров поля [1]:

– Геометрический размер поля определяется как геометрическая проекция открытия коллиматора от источника излучения на плоскость, перпендикулярную оси пучка;

– Радиационный размер поля - величина области, определяемая изодозными линиями в плоскости, перпендикулярной оси пучка излучения.

Геометрического размер поля соответствует световому полю, что соответствует настройке коллиматора с плоскими краями, т.е. формирующего только прямоугольные поля. В широких пучках размер полной ширины на половине максимума (full width at half maximum – FWHM) латеральных профилей, то есть радиационный размер поля, определённый на уровне 50% относительной дозы, равен размеру поля, определённому настройками коллиматора, что соответствует геометрическому размеру поля. В этом случае, размер поля, определённый

настройками коллиматора, будет точно соответствовать размеру FWHM латерального профиля пучка на глубине изоцентра, и измерение FWHM является обычным способом проверки установленного размера поля. Однако в малых полях из-за частичного перекрытия первичного источника фотонов и потери латерального равновесия заряженных частиц (lateral charged particle equilibrium – LCPE), приводящей к резкому уменьшению выхода пучка, это соответствие нарушается (рис. 1). Поскольку максимальное значение дозы по центральной оси уменьшается, FWHM определяется по более низкому положению на кривой полутени. Следовательно, размер FWHM результирующего поля не совпадает с геометрическим определением поля. Таким образом, радиационный размер поля, определенный на уровне 50% относительной дозы, становится шире, чем геометрический размер поля, определяемый проектируемыми настройками коллиматора. Для данного расстояния от источника до детектора (SDD source-to-detector distance) этот эффект зависит от расстояния от источника до коллиматора.

Отсутствие информации о том, задан ли размер поля как размер FWHM латерального профиля пучка или как размер, проектируемый коллиматором, усложняет интерпретацию данных о коэффициентах радиационного выхода полей, опубликованных в литературе. Поэтому рекомендуется, чтобы публикация всех данных по малым полям, таких как коэффициенты радиационного выхода, сопровождалась конкретными пояснениями о том, как определяется размер поля. Было показано, что отклик детектора и возмущение зависят от радиационного размера поля, определенного на уровне 50% относительной дозы, т. е. от размера FWHM на глубине измерения, а не от установленного коллиматором размера [3]. Анализ литературных данных по коррекции возмущений детектора показывает, что ошибки, допущенные при некорректном выборе размера поля, могут быть существенными. Рекомендуется использовать размер FWHM для коррекции возмущений детектора в зависимости от размера поля. Таким образом, можно сделать вывод, что размер FWHM латерального профиля пучка является наиболее показательным и существенным параметром размера поля для точной дозиметрии малых полей. Чтобы облегчить установление взаимосвязи между FWHM и геометрическим размером поля, также рекомендуется указывать как FWHM, так и геометрический размер поля при описании данных по малым полям.

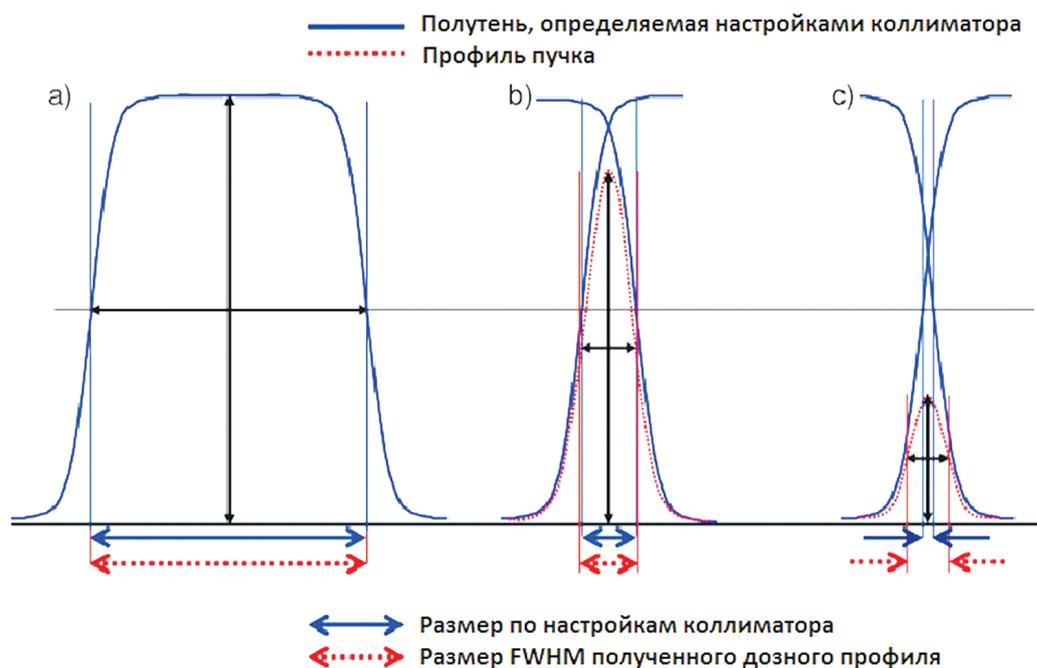


Рисунок 1 – Влияние перекрывающихся полутеней на размер FWHM латерального профиля пучка для малых полей, иллюстрирующее расширение поля по сравнению с размером поля по настройкам коллиматора [2].

Первичная коллимация фотонов, выходящих из мишени, осуществляется с помощью вольфрамового коллиматора с коническим отверстием под углом приблизительно 14 градусов. Коническая часть первичного коллиматора цилиндрически симметрична относительно центральной оси пучка. Этот коллиматор размещается сразу же после мишени и отсекает фотоны, которые находятся за пределами заданной расходимости от центральной оси пучка. Коническое отверстие первичного коллиматора определяет максимальный размер поля излучения. Этот максимальный размер далее изменяется с помощью шторок и вторичной коллимации (рис. 2).

Диаграмма направленности тормозных фотонов имеет ярко выраженный максимум в центре. Для выравнивания диаграммы направленности используется конический выравнивающий фильтр. На ускорителях, предусматривающих работу при различных энергиях, фильтры меняются. Фильтр выравнивает фотонный пучок и отсекает фотоны низких энергий без изменения формы спектра для более высоких энергий.

В дополнении к выравнивающей функции фильтра показано его значительное влияние на поле фотонов. С одной стороны, фильтр рассеивает фотоны, тем самым уменьшая среднюю энергию фотона образованием пары и комптоновским рассеянием, и поглощает фотоны низких энергий, что приводит к увеличению жесткости

излучения. С другой стороны, фильтр снижает общую интенсивность фотонного пучка и создает загрязняющее воздействие заряженными и незаряженными частицами. Выравнивающий фильтр является основным источником рассеянного излучения. Он дает вклад в дозу на оси пучка от 10% до 20% в зависимости от конструкции головки ускорителя и размера поля. Точная установка фильтра является критичной по отношению к пучку [6].

Коллиматор, посредством которого задается малое поле, не только перекрывает первичный источник фотонов, но также экранирует фотоны, которые рассеиваются различными компонентами внутри головки линейного ускорителя, включая сглаживающий фильтр и первичный коллиматор. Таким образом, количество фотонов низкой энергии, рассеянных от первичного коллиматора, сглаживающего фильтра и других компонентов в головке линейного ускорителя, достигающих центра малого поля, уменьшается. Однако для широких полей может быть повышенный относительный вклад фотонов, рассеянных в лечебной головке. Кроме того, величина рассеяния в фантоме также уменьшается для малого поля по сравнению с широким полем. Эти два эффекта приводят к тому, что энергетический спектр фотонов становится более жестким в любой точке на оси пучка с уменьшением размера поля и увеличением средней энергии фотонов по сравнению с условиями широкого поля.

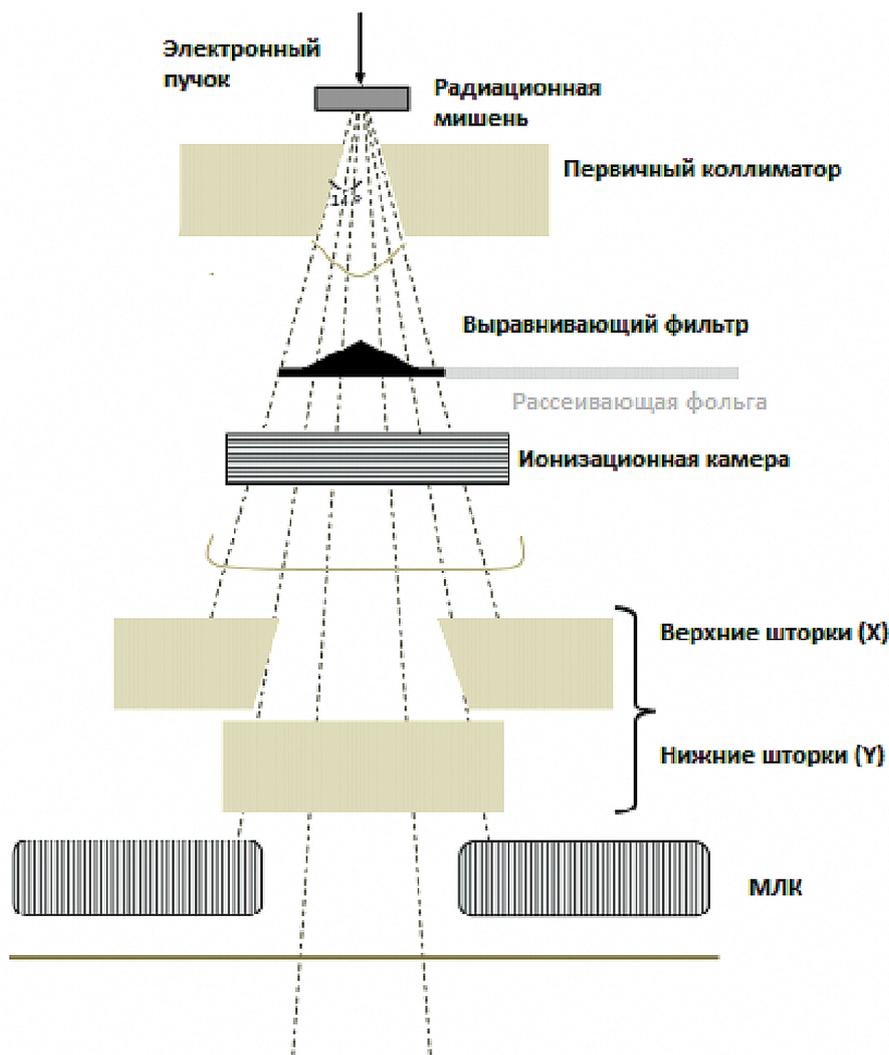


Рисунок 2 – Компоненты типичной головки линейного ускорителя (фотонный режим) [6].

Это приводит к изменению отношения массовых коэффициентов поглощения энергии между водой и материалом детектора (например, отношение массовых коэффициентов поглощения энергии вода-кремний будет увеличиваться с уменьшением размера поля). Дополнительный эффект, который играет роль, заключается в том, что, когда поле слишком мало для достижения LCPE, будет дефицит электронов с низкой энергией, достигающих центральной оси, что приведет к увеличению средней энергии электронов, что также может повлиять на отношение тормозных энергий.

Моделирование методом Монте-Карло показывает, что, хотя спектр плотности потока фотонов значительно изменяется в зависимости от размера поля, спектр заряженных частиц, образующихся в воде, подвергается гораздо меньшему влиянию. Таким образом, влияние размера поля на отношение тормозных способностей вода-воздух уменьшается не более чем на 0,5 % на глубине 10 см в пучке фотонов мощностью 6 MV в диапазоне размеров поля от 10 см × 10 см до 0,3 см × 0,3 см [4, 5]. Даже в диапазоне глубин от глубины максимальной дозы до глубины 30 см разница не превышает 1% [4].

## ЛИТЕРАТУРА

1. INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION, Medical Electrical Equipment: Glossary of Defined Terms, IEC TR 60788, IEC, Geneva, 2004. – 6 p.
2. Dosimetry of Small Static Fields Used in External Beam Radiotherapy: An International Code of Practice for Reference and Relative Dose determination. / IAEA TRS 483. Vienna, 2017. – 14 p.
3. A methodological approach to reporting corrected small field relative outputs / G. Ranmer-Sargison [et al.]. // Radiother. Oncol. – 2013. – Vol. 109. P. 350–355.
4. Eklund, K. Fast modelling of spectra and stopping-power ratios using differentiated fluence pencil kernels / K. Eklund, A. Ahnesjö // Phys. Med. Biol. – 2008. – Vol. 53. P. 4231–4247.
5. Ionization chamber dosimetry of small photon fields: A Monte Carlo study on stopping-power ratios for radiosurgery and IMRT beams / Sanchez-Doblado F. [et al.]. // Phys. Med. Biol. – 2003. – Vol. 48. P. 2081–2099.
6. Podgorsak E. B. Radiation oncology physics: a handbook for teachers and students. International Atomic Energy Agency, Vienna, 2005, – 696 p.

## ИССЛЕДОВАНИЕ СОДЕРЖАНИЯ РАДИОНУКЛИДОВ В ПОЧВЕ В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ НИФХИ ИМ. Л. Я. КАРПОВА В 2020 ГОДУ STUDY OF RADIONUCLIDE CONTENT IN SOIL IN THE ZONE OF INFLUENCE OF THE KARPOV INSTITUTE OF PHYSICAL CHEMISTRY IN 2020

**Я. В. Непогодина<sup>1</sup>, А. А. Удалова<sup>1</sup>**  
**Y. V. Nepogodina<sup>1</sup>, A. A. Oudalova<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>ИАТЭ НИЯУ МИФИ  
г. Обнинск, Российская Федерация  
*dragonflynepogodina@gmail.com*  
*oudalova@mail.ru*

<sup>1</sup>IATE National Research Nuclear University MEPhI  
Obninsk, Russian Federation

Радионуклиды природного происхождения (<sup>40</sup>K, <sup>226</sup>Ra, <sup>232</sup>Th и другие) содержатся в объектах окружающей среды, их излучение вносит вклад в радиационный фон планеты. Также в результате хозяйственной деятельности человека в окружающую среду поступают долгоживущие техногенные радионуклиды, например <sup>137</sup>Cs. Наилучший способ наглядно продемонстрировать реальную экологическую опасность или безопасность ядерных и радиационных технологий – это получить результаты независимого обследования состояния окружающей среды вблизи действующего предприятия соответствующего профиля, что позволяет предупредить негативные последствия.

Radionuclides of natural origin (<sup>40</sup>K, <sup>226</sup>Ra, <sup>232</sup>Th and others) are contained in environmental objects, their radiation contributes to the radiation background of the planet. Also, as a result of human activities in the environment enter long-lived man-made radionuclides, such as <sup>137</sup>Cs. The best way to demonstrate the real environmental hazard or safety of nuclear and radiation technologies is to obtain the results of an independent survey of the environment near an operating enterprise of the relevant profile, which makes it possible to prevent negative consequences.

*Ключевые слова:* радиационно опасный объект, естественные радионуклиды, радиоцезий, почва, загрязнение окружающей среды.

*Keywords:* radiation hazardous object, natural radionuclides, radiocaesium, soil, environmental contamination.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2022-2-254-258>

Для оценки экологической безопасности ядерно опасных предприятий необходимо изучать закономерности поведения естественных и техногенных радионуклидов в прилегающих природных экосистемах. В отличие от объектов ядерной энергетики, воздействие на окружающую среду предприятий неэнергетического профиля (например, производящих радиофармпрепараты) изучено недостаточно. Одним из таких объектов является расположенный в г. Обнинске Научно-исследовательский физико-химический институт им. Л.Я. Карпова (НИФХИ), в зоне влияния которого с 2018 г. проводится радиоэкологический мониторинг природной среды. Научно-исследовательский физико-химический институт им. Л.Я. Карпова имеет экспериментально-исследовательский комплекс, который включает исследовательскую ядерную установку типа ВВР-ц, ускорители электронов, облучательные установки на основе радионуклида <sup>60</sup>Co.