

Расчет характеристик дозного распределения при гамма-терапии с помощью программного пакета Geant4

А.С. Жемчугов^{1,2}, А.И. Мальцев^{1,2}, А.И. Костюк¹

¹ Московский физико-технический институт (государственный университет)

² Объединённый институт ядерных исследований

Существует целый класс задач, связанных с расчётом радиационных полей гамма-излучения. В одной из таких задач необходимо рассчитать распределение дозы, получаемой пациентом при прохождении гамма-лучевой терапии. Для таких расчётов зачастую используются пакеты для моделирования прохождения излучения через вещество методом Монте-Карло, например, Geant4^[1]. Однако, расчёт поглощённой дозы в маленьком участке ткани таким образом малоэффективен, так как значительная часть гамма-квантов проходит сквозь такой участок без энерговыделения. Цель данной работы состоит в том, чтобы вычислить зависимости величины поглощённой дозы в водном фантоме от энергии падающего гамма-кванта и угла его падения, а затем использовать данные зависимости для расчёта распределения поглощённой дозы для заданной модели гамма-терапевтического аппарата. Тогда каждый гамма-квант, налетающий на облучаемую поверхность, даст свой вклад в суммарную дозу.

Расчёт поглощённой дозы выполнялся согласно методике, предлагаемой для реальных измерений практическими рекомендациями МАГАТЭ^[2]. Было выполнено моделирование водного фантома, имеющего на глубине 5 см детектирующий слой толщиной 1 см. В этом слое регистрировалось энерговыделение для разных энергий и углов падения гамма-квантов. Усреднение проводилось на статистике 1 миллион гамма-квантов для каждого из 20 значений энергии и угла падения, таким образом, статистическая ошибка была пренебрежимо малой. Полученная зависимость аппроксимировалась полиномом и использовалась при вычислении распределения поглощённой дозы при моделировании гамма-терапевтического аппарата:

$$\begin{aligned}
 dose = c_1 E + c_2 E^2 + c_3 E^3 + c_4 E^4 + c_5 E^5 + \\
 + c_6 \theta + c_7 \theta E + c_8 \theta^2 E + c_9 \theta E^2
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

где θ – угол падения (в радианах), E – энергия фотона (в МэВ), $dose$ – средняя поглощённая доза на 1 фотон (в Гр* 10^{-18}), c_0, \dots, c_9 – коэффициенты, значения которых приведены ниже (Табл.1)

В качестве радиоактивного источника для аппарата был смоделирован цилиндр из кобальта радиусом 6.25 мм и высотой 25 мм. Спектр источника соответствовал спектру изотопа Кобальт-60. Радиоактивность источника составляла 10000 Ки. Коллиматор представлял собой пластину из обеднённого урана с коническим отверстием с меньшим радиусом 12.3 мм и большим радиусом 61.5 мм. Расстояние от центра источника до рабочей плоскости составляло 820 мм. Вид установки показан на рис.1.

Поток излучения после прохождения через коллиматор был преобразован в распределение мощности дозы. Вместе с этим распределение дозы было рассчитано прямым способом, моделируя каждое прохождение гамма-кванта через водный фантом. Таким образом, были получены профили мощности дозы для прямого расчёта и расчёта с помощью параметризации (Рис. 2), а также вычислена разница между двумя расчётами. (Рис.3)

Среднее время вычисления на процессоре Intel(R) Pentium(R) CPU 2020M с частотой 2.40GHz и размером кэша 2048 KB для прямого расчёта 1 миллиона событий составило (123.5 ± 8.1) с, а для расчёта с помощью параметризации время вычисления составило (69.0 ± 5.2) с.

Как видно из Рис.3, точность вычисления мощности дозы при использовании метода, описанном в данной работе, достигает около 5% в изоцентре.

c_1	c_2	c_3	c_4	c_5	c_6	c_7	c_8	c_9
581.3	103.3	-391.8	262.1	-58.0	22.0	-5.6	215.1	-9.1

Табл.1 Значения коэффициентов в формуле для расчёта средней поглощённой дозы (1)

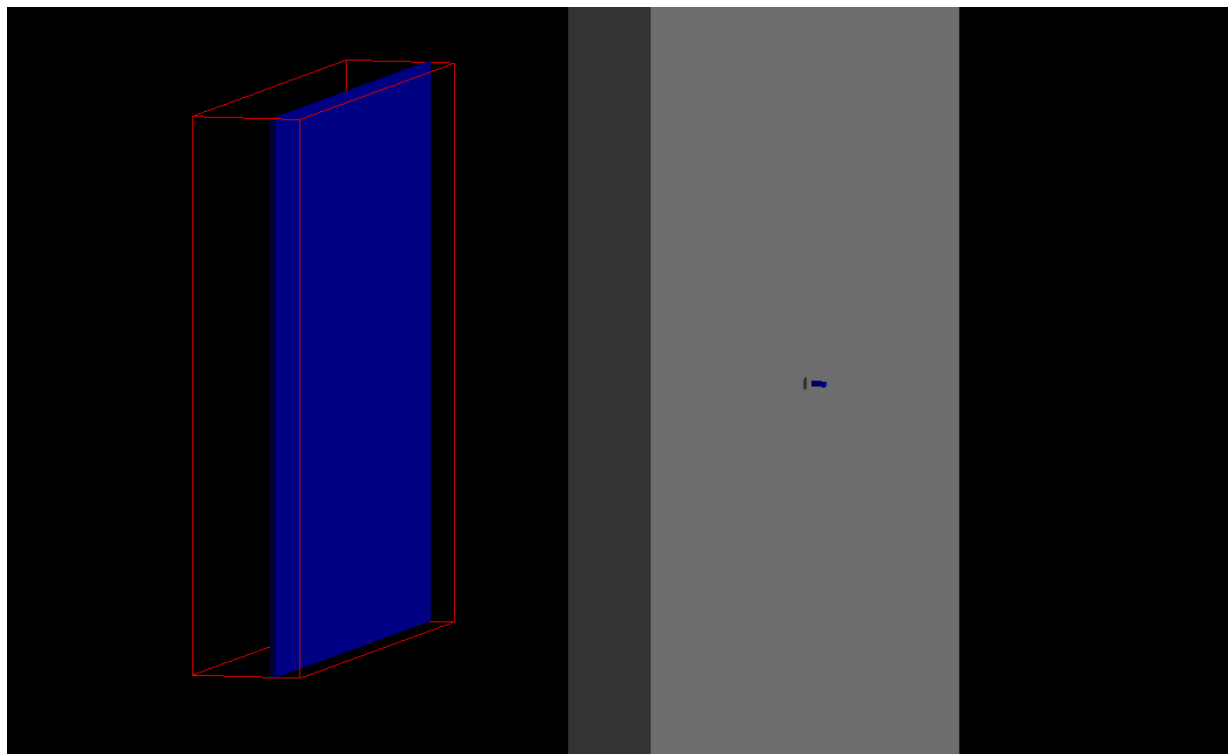


Рис.1 Вид модели гамма-терапевтического аппарата, построенный с помощью Geant4.

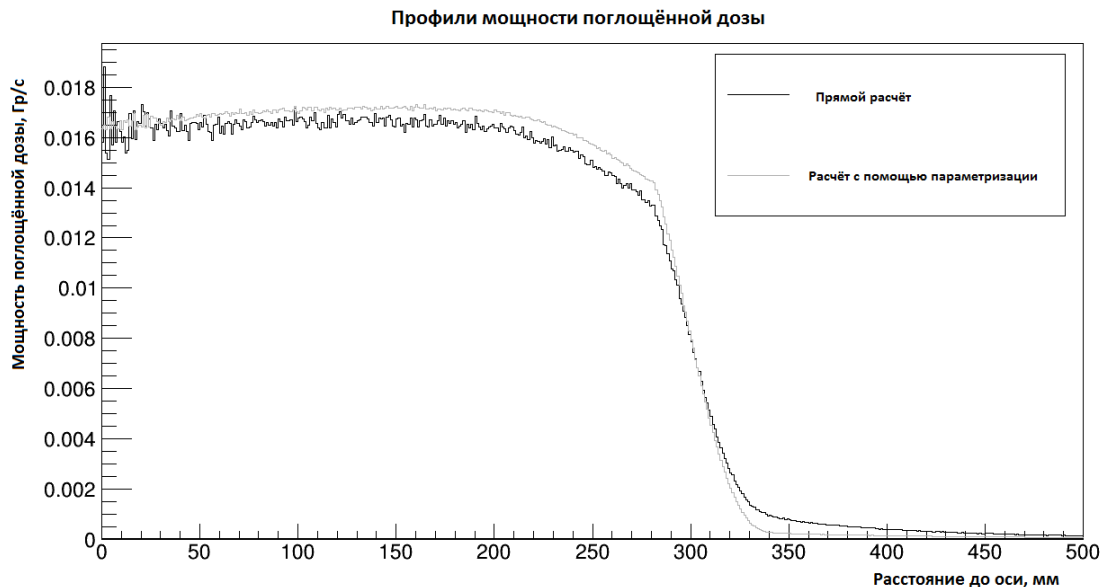


Рис.2 Профили мощностей поглощённой дозы для прямого расчёта и расчёта с помощью параметризации

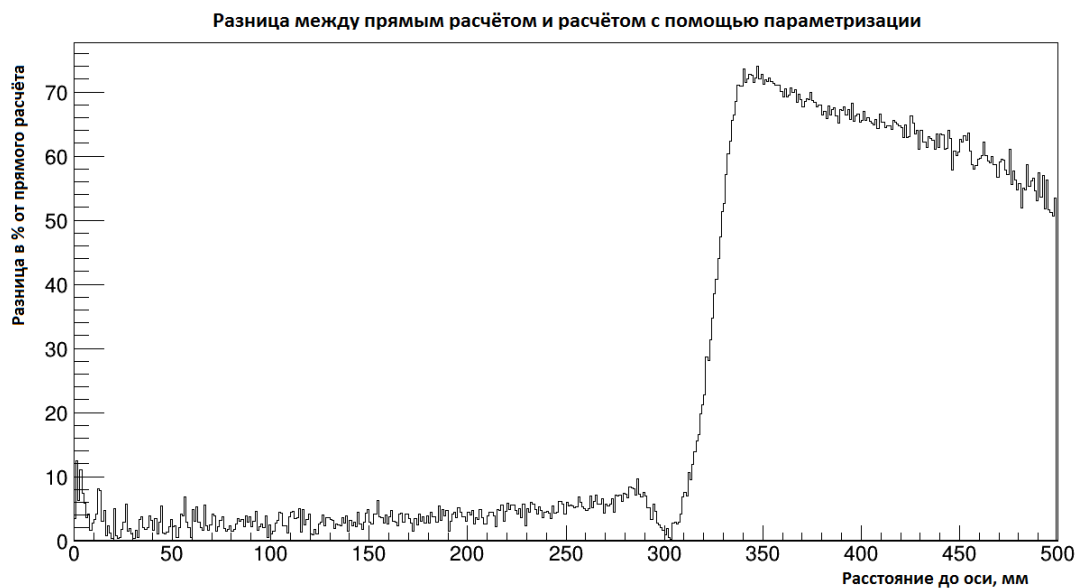


Рис.3 Разница между профилями мощности дозы.

Литература

1. S. Agostinelli *et al.* Geant4 – a simulation toolkit. Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. A 506, p. 250 (2003).
2. Определение поглощенной дозы при дистанционной лучевой терапии: Международные практические рекомендации по дозиметрии, основанные на эталонах единицы поглощенной дозы в воде // Серия технических докладов МАГАТЭ No. 398, Вена, 2004