

УДК 539.1.71.002

ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ДЕТЕКТОРА ДТет

В. В. Сиксин

Проведено исследование путей повышения рабочих характеристик протонного детектора телевизионного типа по усилению яркости свечения энерговыделения. Изготовлен рабочий образец протонного детектора с расширенным диапазоном по энергии (глубина-доза) с 30 до 207.5 МэВ.

Ключевые слова: область энерговыделения, водный фантом, адаптивная телевизионная камера, профили пика Брэгга, детектор телевизионного типа.

Введение. В работе [1] описано прямое наблюдение пространственного распределения энерговыделения пика Брэгга в водном фантоме с помощью адаптивной телевизионной камеры при предельно низком свечении изображения, осуществлена видеозапись аналогового видеосигнала с величиной отношения сигнал/шум (ОСШ), равной ~ 10 , на опытном образце детектора телевизионного типа (ДТет). Полученные результаты требовали компьютерной обработки изображения, включающей в себя как вычитание “темнового” кадра, так и частичную компенсацию дефектных пикселей фотоприемника при проведении измерений профилей пика Брэгга.

В настоящей работе рассматриваются результаты исследования путей совершенствования ДТет с существенным улучшением его рабочих характеристик, что позволило исключить этапы компьютерной обработки изображения. А это, в свою очередь, повысило достоверность измерений и сократило время, затрачиваемое на одно измерение и соответственно на весь цикл измерений в требуемом диапазоне энергий.

Целью исследований являлось определение возможности многократного повышения ОСШ до уровня 40–50. Исследования основывались на анализе основной энергетической формулы детектора [2]:

$$A = (0.2 - 0.8) \cdot \sqrt{\frac{E_{ЭН}}{E_{ПЗС}}}, \quad (1)$$

где A – знаменатель относительного отверстия оптики сопряжения; $E_{ЭН}$ – освещенность в фантоме, создаваемая свечением области энерговыделения; $E_{ПЗС}$ – минимальная рабочая освещенность фотоприемника при ОСШ = 10.

ФИАН, 119991 Россия, Москва, Ленинский пр-т, 53; e-mail: antktech@yandex.ru.

Также было учтено, что ОСШ для собственно детектора ДТеТ определяется как:

$$\text{ОСШ} = \frac{E_{\text{ФП}}}{E_{\text{ПЗС}}}, \quad (2)$$

где $E_{\text{ФП}}$ – освещенность на фотоприемнике, создаваемая объективом со знаменателем относительного отверстия A при наблюдении свечения области энерговыделения $E_{\text{ЭН}}$.

Анализ формул (1) и (2) выявил два основных пути повышения ОСШ – это уменьшение знаменателя относительного отверстия A оптики сопряжения и уменьшение минимальной рабочей освещенности фотоприемника $E_{\text{ПЗС}}$.

В соответствии с результатами исследований были проведены работы по созданию новой оптики сопряжения, позволившей поднять ОСШ в ~ 2.25 раз, и новой телевизионной камеры, позволившей, в свою очередь, поднять ОСШ в ~ 3 раза. Таким образом, стало возможным повышение суммарного значения ОСШ в ~ 6.75 раза и обеспечение наблюдения и видеозаписи с результирующим ОСШ ≈ 67.5 .

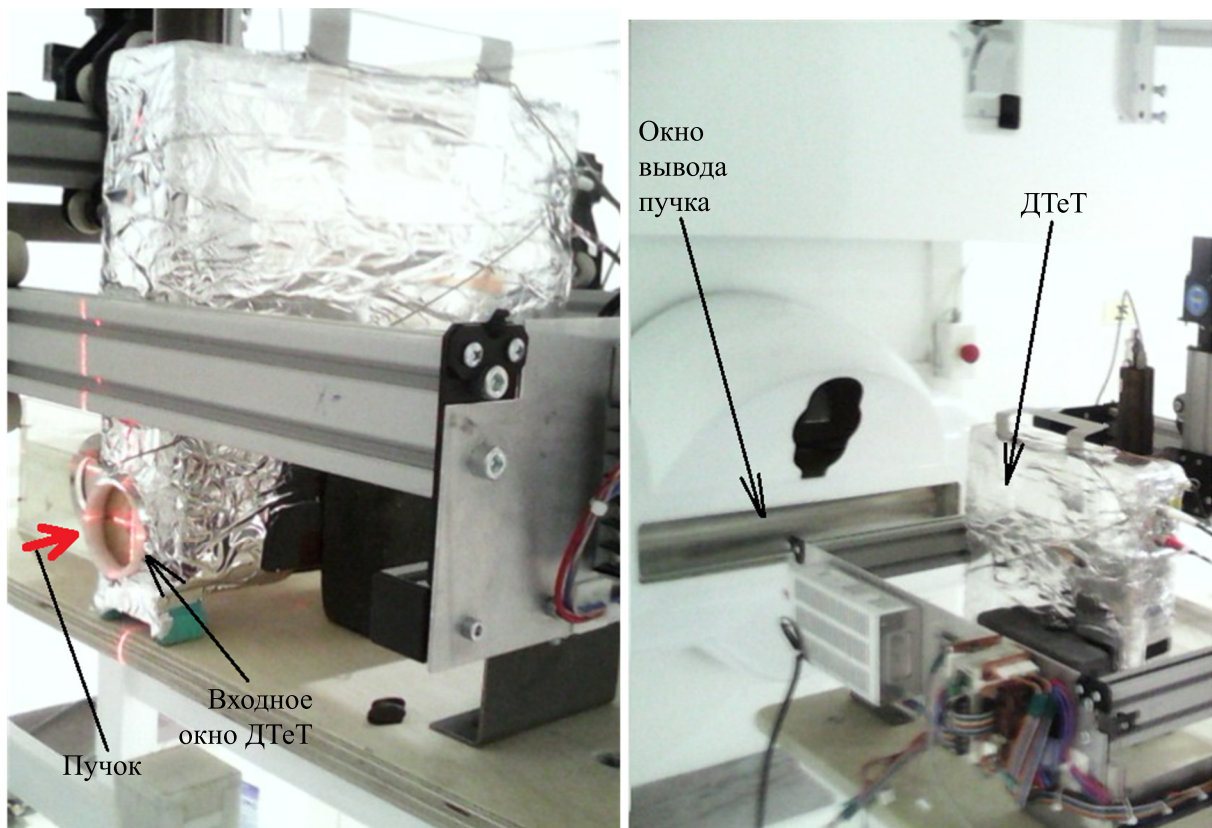


Рис. 1: Детектор ДТеТ на подставке (слева), ДТеТ и выходное окно ускорителя (справа).

Испытания нового рабочего варианта протонного детектора ДТеТ были проведены за период 6–9 ноября 2018 г. на протонном терапевтическом ускорителе “Прометеус”. На рис. 1 приведено размещение протонного детектора ДТеТ на подставке для измерений (слева) и его положение относительно выходного окна ускорителя (справа).

Стрелками показаны окно вывода пучка и его направление до входа в ДТеТ. Детектор ДТеТ, выставленный кюветой на центр пучка, облучался в импульсном режиме для энергий 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110, 120, 130, 140, 150, 160, 170, 180, 190, 192.5, 195, 200, 205, 207.5 МэВ. Пучок на входе в ДТеТ имел ширину на полувысоте 3 мм. Экспериментально было установлено, что граничная точка по энергии равна 207.5 МэВ, так как ограничением являлась только длина применяемой кюветы, поэтому на более высоких энергиях протонного пучка “головка” пика Брэгга выходила за край кюветы.

На рис. 2 приведены изображения энерговывделений (пики Брэгга), полученные на новом рабочем варианте ДТеТ, в котором учтены результаты исследований и предыдущих проектных работ [3].

Здесь мы видим, что рабочий вариант ДТеТ позволяет осуществлять уверенное наблюдение протонного пучка и получать практически мгновенный результат – изображения не требуют компьютерной обработки (вычитание, сложение и др.), так как яркость участка энерговывделения действительно возросла почти на порядок. Вместо бледных, едва различимых изображений [1], измерения на которых можно было проводить только после нескольких этапов обработки кадра, были получены яркие, четкие траектории и профили энерговывделения протонных пучков непосредственно на исходных кадрах видеозаписи.

Из полученных результатов, особенно для больших энергий (напр., для 207.5 МэВ), видно, что пучок, имеющий ширину (сигму), равную 3 мм и интенсивность 10^9 протонов за импульс, входя в водный фантом (кювету), имеет малую расходимость от входа в фантом до пика Брэгга, постепенно расширяясь на узкий конус, что показывает его применимость для точного попадания в заданную точку пациента без повреждения здоровых тканей.

Основные результаты. Подтверждена способность детектора ДТеТ визуализировать область энерговывделения при прохождении импульсов протонного пучка ускорителя через водный фантом, что позволяет измерять профили энерговывделения – координаты пика Брэгга. Получена увеличенная в ~ 6.75 раза яркость изображения протонного пучка.

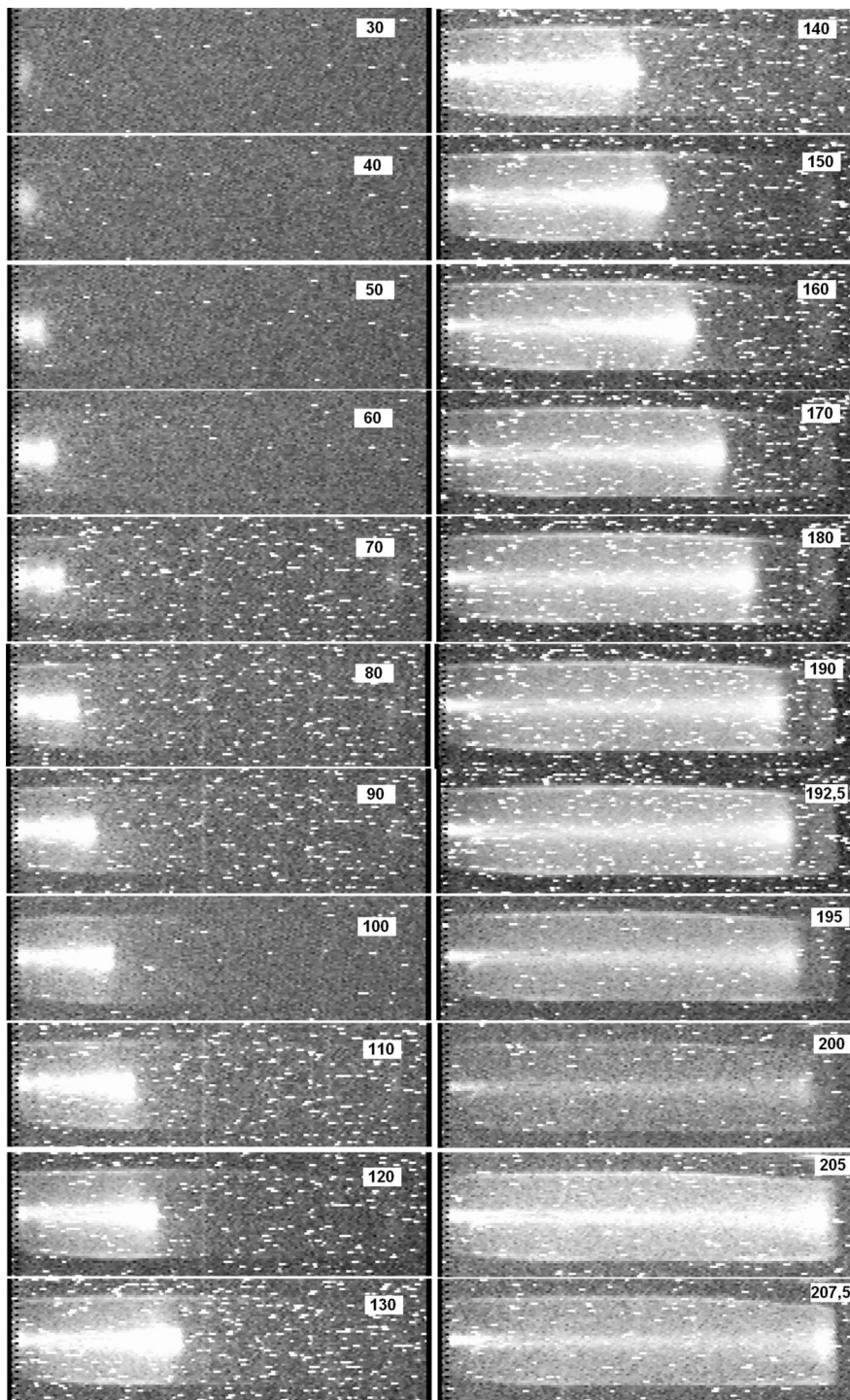


Рис. 2: Кадры с областью свечения протонного пучка ускорителя в водном фантоме для диапазона энергий от 30 до 207.5 МэВ. 7 ноября 2018 г.

Полученные результаты показывают, что новый рабочий вариант детектора ДТеГ возможно применять для точного определения области энерговыделения (кривой Брэгга) при калибровке ускорителя “Прометеус” и для других задач подготовки к сеансу протонной терапии.

Протонный детектор ДТеГ обеспечивает быструю (не более 5 мин) установку и настройку. Также он способен визуализировать энерговыделение от пучков электронов с измерением геометрических размеров изодоз в области энерговыделения. Детектор легко устанавливается на любом типе терапевтических ускорителей, быстро определяет поглощенную дозу, портативен, легок в настройке и обслуживается одним человеком без применения специального оборудования.

Дальнейшим этапом развития протонного детектора ДТеГ является совершенствование программного обеспечения с задачей автоматизированного измерения координат, которое позволит обеспечить промышленное применение ДТеГ на терапевтических ускорителях в различных медицинских центрах.

Автор выражает благодарность В. Е. Балакину за возможность испытаний рабочего варианта протонного детектора ДТеГ в сеансе 6–9 ноября 2018 г. на ускорителе “Прометеус”, а также А. Е. Шевякову за помощь в управлении ускорителем при работе с детектором ДТеГ.

Автор выражает благодарность А. И. Львову за поддержку при проведении сеанса в г. Протвино в ноябре 2018 г.

Л И Т Е Р А Т У Р А

- [1] В. В. Сиксин, Краткие сообщения по физике ФИАН **45**(5), 36 (2018).
- [2] В. В. Сиксин, Патент РФ № 2654838. Опубликовано: 22.05.2018 Бюл. № 15.
- [3] А. В. Гринкевич, В. В. Сиксин, Патент на полезную модель № 179244. Опубликовано: 07.05.2018 Бюл. № 13.

Поступила в редакцию 23 ноября 2018 г.

После доработки 23 ноября 2018 г.

Принята к публикации 3 декабря 2018 г.