

УДК 539.1.076

ДЕТЕКТОР ДЛЯ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ОБЛАСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ПОГЛОЩЕННЫХ ДОЗ В ФАНТОМЕ С ВОДОЙ НА ПУЧКЕ ЭЛЕКТРОНОВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ БИОЛОГИЧЕСКИХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

А. В. Гринкевич¹, В. В. Сиксин²

Разработан и испытан на пучке электронов ускорителя “Пахра” детектор с высокочувствительной телевизионной камерой для визуализации области формирования поглощенных доз в фантоме с водой. Детектор состоит из водного фантома и ТВ камеры с аппаратурой съема информации с нее. Экспериментально определены геометрическая форма и размеры области свечения в фантоме при импульсном облучении фантома пучком электронов с энергией 7 МэВ, проведены модельные расчеты для определения поглощенных доз при поглощении электронов в воде.

Ключевые слова: область энергосвечения, водный фантом, адаптивная телевизионная камера, глубинное дозное распределение.

Введение. Впервые применен и испытан на пучке электронов ускорителя “Пахра” детектор с тканеэквивалентным фантомом с водой и высокочувствительной телевизионной камерой, в дальнейшем “детектор”. Использовался инжектор ускорителя “Пахра” ОФВЭ ФИАН. Ускоритель настраивался на энергию 7 МэВ в импульсном режиме, с длительностью импульса 4 мкс и частотой повторения 50 гц. Ускоритель “Пахра” используется для физических экспериментов и прикладных работ. Созданный детектор предназначен для определения геометрических размеров области энергосвечения пучка в фантоме и для дальнейшей оценки формирования поглощенных доз в тканеэквивалентных фантомах.

В настоящее время в радиологии для регистрации поглощенных доз в фантомах применяются ионизационные камеры и метод пленочной дозиметрии [1]. В работе [2]

¹ ООО “ЭВС”, 195253 Россия, Санкт-Петербург, Салтыковская дорога, 18.

² ФИАН, 119991 Россия, Москва, Ленинский пр-т, 53; e-mail: antktech@yandex.ru.

приводится распределение изодоз в воде и на фотопленке при разных энергиях электронного пучка (рис. 106 книги [2]) с применением фантома с водой и пучка электронов с энергиями 5 и 15 МэВ.

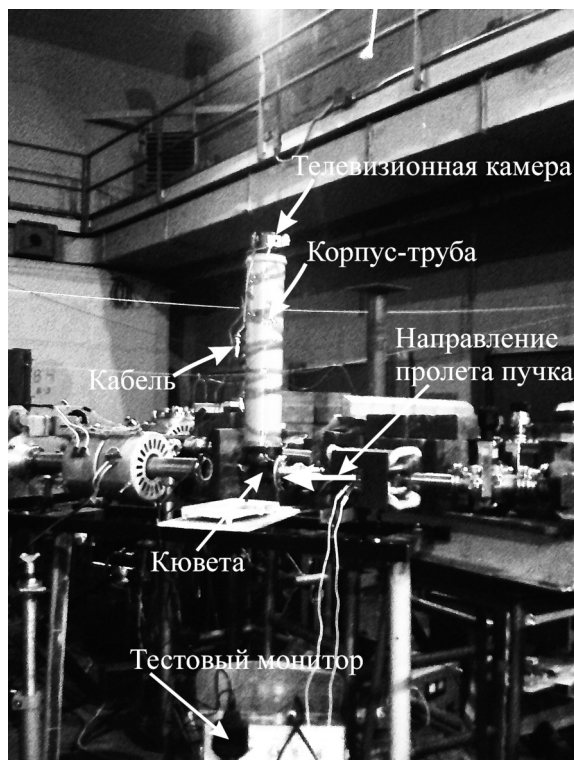


Рис. 1: Детектор на канале.

Целью настоящей работы является создание детектора телевизионного типа для визуализации зоны энерговыведения в реальном режиме времени и ее видеозаписи при прохождении пучка электронов через водный фантом.

Описание детектора. Детектор включает телевизионную камеру (ТВК), водный фантом и тестовый монитор с встроенным видеорегистратором, осуществляющим запись изображения в формате 320×240 пикселей с частотой 25 кадров в секунду.

Нижняя часть детектора представляет собой кювету с размером внутренней части $55 \times 55 \times 55$ мм³, которая затем переходит в трубу. В верхней части трубы закреплена ТВК. На рис. 1 видна кювета (фантом), расстояние от входного окна которой до ионопровода составляет 3.5 см. На фантом за один импульс поступает $7.5 \cdot 10^{11}$ электронов. Поперечный размер пучка при входе во входное окно кюветы имеет диаметр 8 мм. Все детали узла кюветы изготовлены из непрозрачной черной пластмассы. В кювету залита дистиллированная вода, верхний ее край открыт для ТВК, которая располагается на

расстоянии 65 см выше верхнего слоя воды. Применен объектив с фокусным расстоянием 25 мм, сфокусированный на середину кюветы. Расстояние 65 см обеспечивает предохранение электронных узлов ТВК от воздействия пучка высокой энергии.

Анализ экспериментальных данных. Для эксперимента была применена ТВК типа VNA-753-НЗ, разработанная для спецприменений предприятием “ЭВС” (г. Санкт-Петербург). Описание ТВК и основные аспекты ее работы приведены в работе [3].



Рис. 2: “Темновой” кадр.

Высокая паспортная чувствительность камеры (0.00003 лк) при максимальной адаптации к темноте обеспечивает стабильный “темновой” кадр (рис. 2). При таком малом освещении адаптивный механизм телевизионной камеры VNA-753-НЗ “держит” ее в режиме максимальной чувствительности – объединение 12 пикселей в 1 и сложение 16 кадров длительностью 20 мс в один суммарный кадр, т.е. здесь мы регистрируем изображение, эквивалентное времени накопления 0.32 с.

При пролете пучка электронов появляется свечение в кювете с водой и начинает работать автоматический адаптивный механизм камеры, анализирующий прошедший кадр и изменяющий при необходимости количество складываемых кадров в каждом последующем суммарном кадре. Ориентировочное время отработки программы микропроцессора ТВК лежит в диапазоне от 2-х до 5-ти с. Параметры пучка не изменяются в течение 10 с, обеспечивая стабильность яркости области свечения в кювете с водой. Это позволяет адаптивному механизму ТВК VNA-753-НЗ войти в установившийся режим и регистрировать устойчивое изображение после 5-й секунды цикла. Время автоматической отработки механизма адаптации достаточно точно определяется экспериментально и по анализу полученных кадров; за стабильное изображение можно принять изображение на 7-й секунде цикла.

По снимкам с ТВК анализируется точное положение и размеры “области свечения” в районе области энерговыделения.

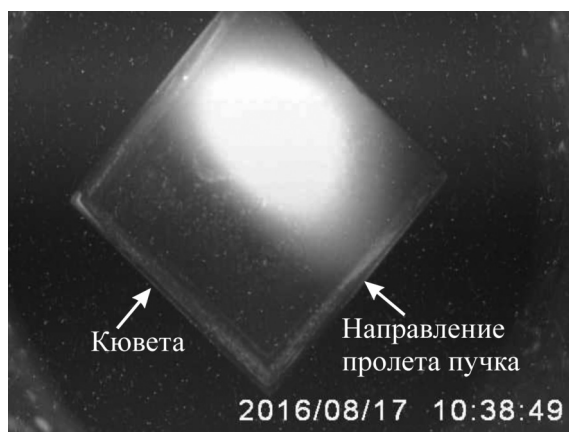


Рис. 3: 7-я секунда цикла. Стабильное изображение.

Ускоритель включался на 10 секунд, а затем выключался на 20 секунд и такие циклы повторялись в течение всего сеанса. Была установлена повторяемость результата, приведенного ниже.

На секундах с 5-й по 9-ю кадры стабильны и для дальнейшего анализа принят кадр 7-й секунды цикла (рис. 3).

На рисунках 2 и 3 стрелкой показано направление пролета и положение оси пучка электронов.

После завершения цикла микропроцессор ТВК снова вводит ее в режим максимальной чувствительности, и мы снова начинаем видеть “темновой” кадр (рис. 2). Все последующие циклы регистрировались практически одинаковыми кадрами видеорегистратора.

Оценка поглощенной дозы в фантоме. Также для сравнения с экспериментом был проведен теоретический расчет поглощенной дозы, в который вводились интенсивность пучка электронов за импульс, частота посылок, размер пучка на входе в фантом, размер фантома, ориентировка пучка по центру фантома. Поперечное распределение частиц на входе фантома считалось равномерным.

Теоретические расчеты показали, что энерговыделение проявляется в виде сферы радиусом 7.5 мм в центре фантома, а за 500 импульсов выделяется доза, равная $(2.29 \pm 0.03) \cdot 10^4$ Гр.

Компьютерное моделирование взаимодействия электронного пучка с фантомом было проведено пакетом программ MNCP-A [4]. Оценка поглощенной дозы была проведена

численным экспериментом средствами пакета программ MNCP-A. Расчет был проведен А. Е. Чернуха из “Медицинского радиологического научного центра”, г. Обнинск.

Практически измеренные геометрические размеры области свечения, зафиксированные детектором на стабильном кадре (рис. 3), имеют размеры $\sim 36 \times 24$ мм². Это несоответствие размеров – предмет для дальнейшего исследования.

Снижение интенсивности пучка ускорителя возможно регулировкой режима работы ускорителя, что в совокупности с малыми размерами формирования поглощенной дозы позволяет использовать ускоритель “Пахра” для биологических экспериментов.

Авторы выражают благодарность А. И. Львову за поддержку работы, Г. Г. Субботину за настройку ускорителя в нужный для эксперимента режим.

Л И Т Е Р А Т У Р А

- [1] Н. В. Марков, Диссертация на соискание ученой степени к.ф.м.н. (НИЦ “Курчатовский институт”, Москва, 2014).
- [2] В. А. Москалев, В. Л. Чахлов, *Бетатроны* (Издательство Томского политехнического университета, Томск, 2009).
- [3] А. В. Гринкевич, В. В. Сиксин, Препринт ФИАН № 9, 2016 (ФИАН, Москва, 2016).
- [4] J. F. Briesmelster, *MNCP-A general Monte Carlo N-particle transport code. Version 4C. Report LA-13709-M* (Los Alamos National Laboratory, Los Alamos, 2000).

Поступила в редакцию 24 октября 2016 г.