

Разработка и исследование метрологических характеристик концентрического графитового калориметра для воспроизведения поглощенной дозы от брахитерапевтических источников

А.В.Берлянд (к.т.н., нач.лаб.)

Всероссийский научно-исследовательский институт физико-технических и радиотехнических измерений, пос. Менделеево Московской обл.

Контакты: +7 (495) 660-17-44, sander.00007@gmail.com.

Аннотация. В статье описывается процесс разработки и создания конструкции концентрического графитового калориметра, предназначенного для воспроизведения единицы поглощенной дозы излучения от источников для брахитерапии. Представлено физическое обоснование геометрии поглотителя калориметра, позволяющей минимизировать влияние градиентов дозы и теплового самонагрева источников с высокой активностью. Приведены результаты комплексного численного моделирования распределения дозовых полей и тепловых процессов внутри конструкции калориметра, выполненные с использованием методов Монте-Карло (EGSnrc, PHITS) и конечно-элементного анализа (COMSOL). Оценены поправочные коэффициенты, учитывающие влияние вакуумных зазоров и конструкционных неоднородностей на результаты измерений. Экспериментальные исследования метрологических характеристик подтвердили, что разработанный аппаратный комплекс обеспечивает воспроизведение поглощенной дозы в графите со средним квадратическим отклонением не более 0,4% и неисключенной систематической погрешностью не более 0,9% (при $P = 0,99$). Полученные результаты формируют научно-техническую базу для совершенствования государственного первичного эталона поглощенной дозы фотонного излучения.

Ключевые слова: брахитерапия, графитовый калориметр, поглощенная доза, метрология ионизирующих излучений, моделирование Монте-Карло, тепловые процессы, эталон.

Development and Metrological Performance Evaluation of a Concentric Graphite Calorimeter for Absorbed Dose Realization from Brachytherapy Sources

Berlyand Alexander

FSUE «VNIIFTRI», Mendeleyevo village, Moscow region, Russia

Abstract. The article describes the development and structural design of a concentric graphite calorimeter intended for the reproduction of the unit of absorbed dose to water from brachytherapy radiation sources. A physical substantiation is presented for the geometry of the calorimeter absorber, which allows minimizing the impact of dose gradients and thermal self-heating of high-activity sources. The results of comprehensive numerical simulation of dose field distributions and thermal processes within the calorimeter design are provided, performed using Monte Carlo methods (EGSncr, PHITS) and finite element analysis (COMSOL). Correction factors accounting for the influence of vacuum gaps and structural inhomogeneities on the measurement results are evaluated. Experimental studies of metrological characteristics confirmed that the developed instrumental complex ensures the reproduction of the absorbed dose in graphite with a standard deviation of no more than 0.4% and an uneliminated systematic error of no more than 0.9% (at $P = 0.99$). The results obtained form the scientific and technical basis for improving the state primary standard of absorbed dose of photon radiation.

Keywords: brachytherapy, graphite calorimeter, absorbed dose, ionizing radiation metrology, Monte Carlo simulation, thermal processes, primary standard.