

Исследование характеристик полей от дозиметрических источников бета-излучения на установке УДБ-АТ200

Представлены результаты исследования зависимости мощности поглощенной дозы от расстояния и от точности позиционирования стандартных дозиметрических источников бета-излучения на новой дозиметрической установке УДБ-АТ200 (УП «АТОМТЕХ»). Исследована неравномерность профиля полей бета-излучения, создаваемых источниками из радионуклидов стронций-90+иттрий-90, криптон-85 и прометий-147 в условиях, регламентированных в международном стандарте ISO/DIS 6980-2:2021(E).

Ключевые слова:

бета-излучение, выравнивающий фильтр, мощность поглощенной дозы, ионизационная камера, профиль поля.

**С.А.Федина¹, В.А.Тренкин¹,
В.Д.Гузов², Р.И.Титков²**

¹ ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева»,
г. Санкт-Петербург, Россия

² УП «АТОМТЕХ», г. Минск, Республика
Беларусь

Установка дозиметрическая бета-излучения УДБ-АТ200 (далее – установка УДБ-АТ200) в комплекте с источниками бета-излучения из радионуклидов стронций-90 + иттрий-90, криптон-85 и прометий-147 предназначена для передачи размера единиц поглощенной дозы, мощности поглощенной дозы, направленного и индивидуального эквивалентов дозы, мощности направленного и индивидуального эквивалентов дозы бета-излучения рабочим эталонам и средствам измерений при поверке, калибровке и испытаниях.

В данной работе исследовались метрологические характеристики установки УДБ-АТ200:

- зависимость мощности поглощенной дозы бета-излучения от расстояния до источника;
- зависимость мощности поглощенной дозы бета-излучения от точности позиционирования источника;

- равномерность профиля поля бета-излучения для стандартных условий, регламентированных в ISO 6980-2:2021 [1].

Методика измерений

Для проведения измерений на установке УДБ-АТ200 использовались закрытые дозиметрические источники бета-излучения из радионуклидов $^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$ типа БИС-50, $^{85}\text{Kг}$ типа КАС.ДЗ и ^{147}Pm типа БИП-50 в специальных держателях из состава установки, плоскопараллельная ионизационная камера фиксированного объема (далее – камера) с диаметром измерительного электрода 30 мм и глубиной 2 мм из состава Государственного первичного эталона ГЭТ 9-2018, электрометр *Keithley 6517B* и специализированное программное обеспечение (ПО). Камера фиксировалась на приборном столике, перемещающемся в двух перпендикулярных направлениях $Y-Z$. Проверка соосности камеры и источника осуществлялась с помощью лазерного устройства, установленного в блок излучателя. Координатная привязка камеры по оси X осуществлялась с помощью стержня калиброванной длины. Расстояние от входного окна камеры до источника (далее – расстояние «источник–камера»), устанавливаемое автоматически из программы управления работой установки, контролировалось итерационной системой точного позиционирования блока излучателя. Смещение рабочей поверхности для различных типов источников относительно опорной поверхности, используемой при оцифровке координаты X , учитывалось в ПО автоматически.

Исследование зависимости мощности поглощенной дозы бета-излучения от расстояния «источник–камера» проводилось в диапазоне расстояний от 65 до 1000 мм для источника $^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$, в диапазоне расстояний от 80 до 300 мм для источника $^{85}\text{Kг}$ и в диапазоне расстояний от 80 до 200 мм для источника

^{147}Pm . Измерения выполнялись с источниками без выравнивающих фильтров (ВФ).

Для исследования неравномерности профиля поля бета-излучения камера перемещалась в поперечном направлении (вдоль оси Y) на расстояние до 75 мм с шагом 15 мм, в обе стороны от центральной оси пучка излучения. Расстояние между источником и камерой составляло: 300 мм для источников $^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$ и $^{85}\text{Kг}$, и 200 мм для источника ^{147}Pm . Измерения проводились с выравнивающими фильтрами из комплекта фильтров установки УДБ-АТ200, характеристики которых приведены в ISO 6980-2:2021.

Величиной, характеризующей мощность поглощенной дозы бета-излучения, является ионизационный ток в камере. Поэтому все выводы, сделанные в данной работе на основе измерений ионизационного тока, имеют прямое отношение и к мощности поглощенной дозы.

Для оценки влияния точности позиционирования источника на величину погрешности ионизационного тока в камере был выбран источник ^{147}Pm . Бета-излучение от радионуклида ^{147}Pm , средняя энергия спектра которого наименьшая из всего набора источников, около 60 кэВ, наиболее чувствительно к толщине проходимого слоя воздуха. Поэтому величину погрешности в значении ионизационного тока в камере от источника ^{147}Pm можно принять за верхнюю границу этой погрешности.

Результаты измерений

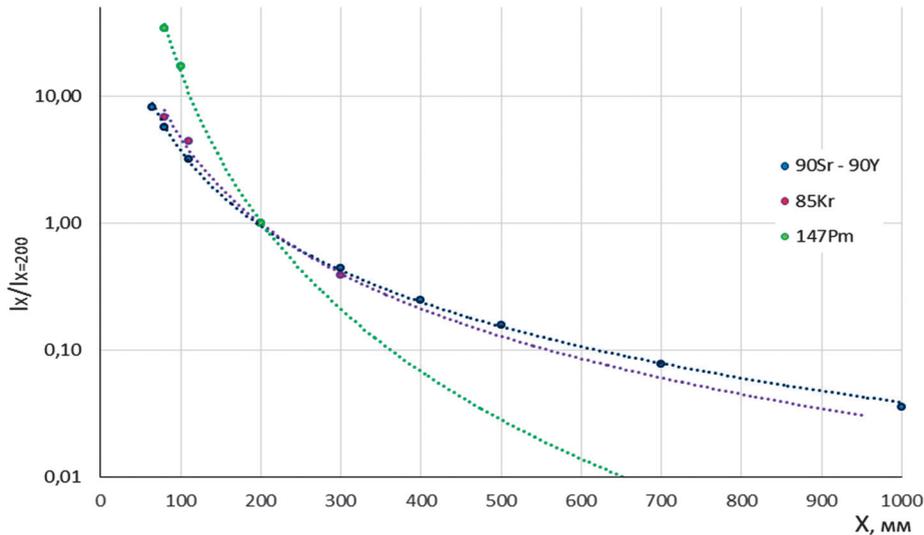
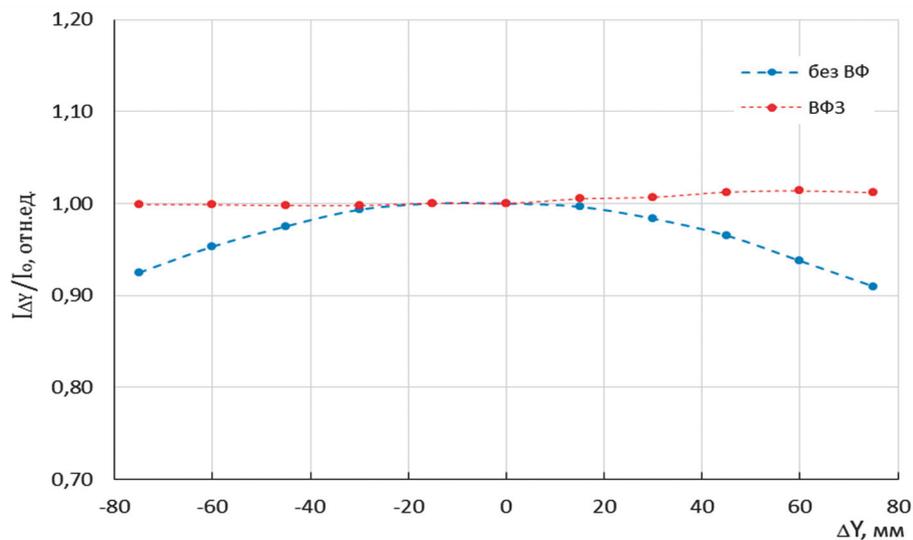
На рис.1 представлены графики зависимости ионизационного тока в камере от расстояния до источника бета-излучения, нормированного на значение ионизационного тока при расстоянии до источника 200 мм, а также их аппроксимация степенной функцией вида:

$$I_X/I_{X=200} = aX^b, \quad (1)$$

где I_X – значение ионизационного тока в камере, находящейся на расстоянии X от источника

Табл.1. Значения коэффициентов функции аппроксимации.

Коэффициенты степенной функции	Источники бета-излучения		
	БИС-50	КАС.ДЗ	БИП-50
a	$3,5645 \cdot 10^4$	$1,38821 \cdot 10^5$	$1,05790 \cdot 10^9$
b	-1,9879	-2,2352	-3,9168

**Рис.1.** Зависимость ионизационного тока в камере от расстояния «источник–камера».**Рис.2.** Профиль поля излучения источника БИС-50 без ВФ и с ВФ на расстоянии «источник–камера» 300 мм.

бета-излучения; $I_{X=200}$ – значение ионизационного тока в камере на расстоянии 200 мм от источника бета-излучения.

В табл.1 приведены коэффициенты функции аппроксимации a и b , рассчитанные методом наименьших квадратов.

На графиках (рис. 2, 3, 4) представлены профили поля бета-излучения источников БИС-50, КАС.ДЗ и БИП-50, характеризуемые

отношением ионизационных токов в камере на расстоянии Y от центральной оси и в самом центре поля излучения – I_Y / I_{Y_0} . Для источника БИС-50 измерения проводились с выравнивающим фильтром ВФ3 и без него, для источника КАС.ДЗ – с выравнивающим фильтром ВФ2 и для источника БИП-50 – с выравнивающим фильтром ВФ1 и без него.

Рис.3.
Профиль поля излучения источника КАС.ДЗ с ВФ на расстоянии «источник–камера» 300 мм.

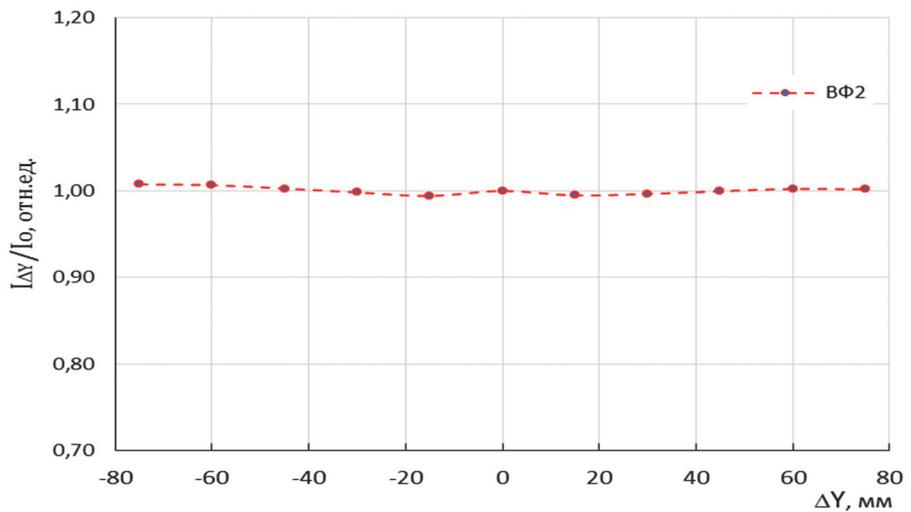


Рис.4.
Профиль поля излучения источника БИП-50 без ВФ и с ВФ на расстоянии «источник–камера» 200 мм.

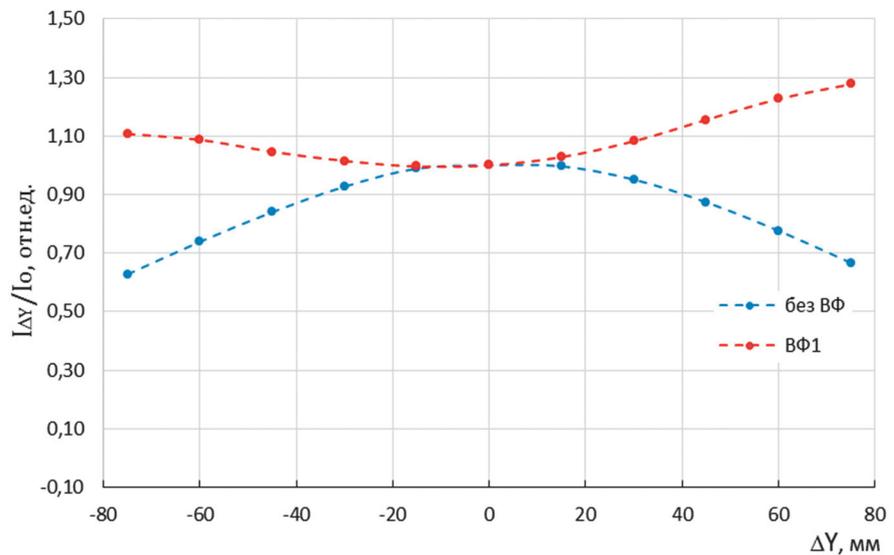
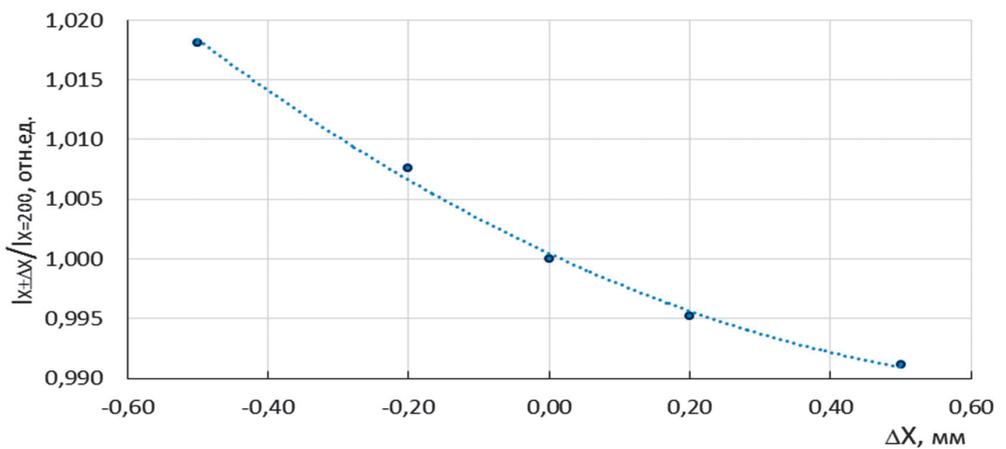


Рис.5.
Зависимость нормированного ионизационного тока в камере от точности позиционирования источника БИП-50 (расстояние «источник–камера» 200 мм).



На рис.5 представлены результаты исследования влияния точности позиционирования источника на ионизационный ток в камере.

Допустимая максимальная величина неточности (ΔX) в установке расстояния 200 мм принималась равной ± 500 мкм.

Заклучение

Полученная в работе степенная функция, описывающая зависимость мощности поглощенной дозы бета-излучения от расстояния между активной поверхностью источника и опорной точкой дозиметра (камеры), позволяет определить значение мощности дозы для любого расстояния из диапазона рабочих расстояний установки, указанных в технических характеристиках, с погрешностью не более 5%.

Неравномерность профиля поля бета-излучения источников БИС-50 и КАС.ДЗ с выравнивающими фильтрами составила 1,4% и 0,8% соответственно, что подтверждает эффективность применения выравнивающих фильтров и качество физической модели, используемой для их расчета. Неравномерность профиля поля источника БИП-50 с выравнивающим фильтром составила 28%. Одним из возможных объяснений неэффективности этого

фильтра является то, что характеристики источника БИП-50, используемые в модели расчета фильтра, не соответствуют реальным. Учитывая, что спектр электронов радионуклида прометий-147 более мягкий, чем спектры радионуклидов $^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$ и ^{85}Kr , параметры источника существенно зависят от характеристик слоя радиоактивного вещества, нанесенного на подложку. Поэтому для корректного расчета выравнивающего фильтра необходима информация о параметрах слоя, равномерности распределения радионуклида ^{147}Pm по поверхности подложки, о толщине пленки защитного покрытия активного слоя, определяющих наряду с исходным спектром радионуклида форму бета-спектра источника.

Относительное изменение мощности дозы источника БИП-50 на расстоянии 200 мм составляет не более 0,7% при точности позиционирования 0,2 мм.

Литература

1. ISO 6980-2:2021, International Organization for Standardization. Nuclear energy – Reference beta-particle radiation. Part 2: Calibration fundamentals related to basic quantities characterizing the radiation field.

Field Behaviour Study of Dosimetric Beta Radiation Sources at AT200 Facility

Fedina Svetlana¹, Trenkin Valery¹, Huzov Vladimir², Titkov Ruslan²

¹ The D.I. Mendeleev All-Russian Institute for Metrology (VNIIM), St. Petersburg, Russia

² ATOMTEX SPE, Minsk, Republic of Belarus

Abstract. Results of research of absorbed dose rate dependence on distance and on positioning accuracy of standard dosimetric beta-radiation sources at the new AT200 calibration facility (by ATOMTEX SPE) are presented. The non-uniform profile of beta-radiation fields created by sources with strontium-90 + yttrium-90, krypton-85 and promethium-147 radionuclides under conditions as specified in ISO/DIS 6980-2:2021(E) international standard was investigated.

Key words: beta radiation, compensating filter, absorbed dose rate, ionization chamber, field profile.

С.А.Федина (н.с.)¹, В.А.Тренкин (прогр.)¹, В.Д.Гузов (нач.отд.)², Р.И.Титков (инж.)²

¹ ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева», г. Санкт-Петербург, Россия

² УП «АТОМТЕХ», г. Минск, Республика Беларусь

Контакты: тел. +7 (812) 323-96-13; e-mail: s.a.fedina@vniim.ru.