

Состав и характеристики модернизированного государственного первичного эталона активности радионуклидов ГЭТ6-2016

И.В.Алексеев, А.В.Заневский, Г.В.Жуков, С.В.Сэмпан,
Т.И.Шильникова, Е.Е.Терещенко, С.Г.Трофимчук,
И.А.Харитонов.

ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева», Санкт-Петербург, РФ

Изменение названия государственного первичного эталона

Старое название

Государственный первичный эталон единиц активности
радионуклидов, потока и ~~плотности потока~~ альфа-, бета-частиц
и потока фотонов радионуклидных источников
ГЭТ 6-95

Новое название

Государственный первичный эталон единиц активности
радионуклидов, **удельной активности радионуклидов**, потока
альфа-, бета-частиц и фотонов радионуклидных источников
ГЭТ 6-2016

Средства измерений активности радионуклидов, плотности потока альфа-, бета-частиц и фотонов

Государственный реестр СИ
170 типов радиометров

Средства измерений, находящиеся в эксплуатации
более 30 000



Вторичные эталоны – 11

4 - ВНИИМ им. Д.И. Менделеева

2 - ВНИИФТРИ

2 - Менделеевский ЦСМ

1 - Радиевый институт им. В.Г. Хлопина

2 – ГНМЦ Минобороны России

**Рабочие эталоны
в региональных центрах
метрологии
более 250**

Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д. И. Менделеева



**АТОМНАЯ ЭНЕРГЕТИКА,
ПРОИЗВОДСТВО
РАДИОНУКЛИДНОЙ
ПРОДУКЦИИ**

**ГПЭ
ГЭТ 6-2016**

КОСМОС
Гелиогеофизические
измерения

РАДИОЭКОЛОГИЯ

Оценка влияния предприятий ЯТЦ на состояние окружающей природной среды, радиационный контроль воды, пищевой продукции

ЯДЕРНАЯ МЕДИЦИНА

Радионуклидная диагностика, позитронно-эмиссионная томография, производство радиофармпрепаратов

Радиоэкология

**Гелиогеофизические
измерения
в космосе**

**Паспортизация
радионуклидной
продукции**

**Ядерная
медицина**

30 – 15 %

25 %

25 – 5 %

10 %

**Требования
к точности
измерений**

Приказ Минприроды России от 07.12.2012 № 425
Измерения активности радионуклидов в воздухе, поверхностных водах, выпадениях

Приказ Минприроды России от 7 декабря 2012 г. № 424
Измерения плотности потока заряженных частиц в околоземном пространстве

ТУ на радионуклидную продукцию предприятий-изготовителей

Приказ Минздрава России от 05.02.2015 № 40н
Измерения активности радионуклидов в препаратах, применяемых в диагностике, лечении, исследованиях

Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д. И. Менделеева



Необходимость совершенствования первичного эталона

- ❑ Реализация Федеральной программы «Развитие здравоохранения» в направлении развития и внедрения инновационных методов диагностики и лечения: **расширение спектра радионуклидов и средств измерений, применяемых в ядерной медицине для диагностических и терапевтических целей**
- ❑ Повышение требований к обеспечению радиационной безопасности при подготовке и проведении диагностических исследований методами ядерной медицины: **СанПиН 2.6.1.3288-15 , СанПиН 2.6.1.2368-08**
- ❑ Обеспечение эквивалентности эталона в мире: **новые ключевые сличения в области измерений активности радионуклидов ^{99m}Tc , ^{18}F (BIPM.RI(II)-K4.Tc-99m, BIPM.RI(II)-K4.F-18)**
- ❑ Повышение требований к точности измерений и соответствующих требований к измерительной аппаратуре: **приказы министерств РФ в отношении требований к измерениям в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений**
- ❑ Совершенствование средств измерений активности радионуклидов, удельной активности радионуклидов, плотности потока частиц **в ядерной энергетике, радиоэкологии**

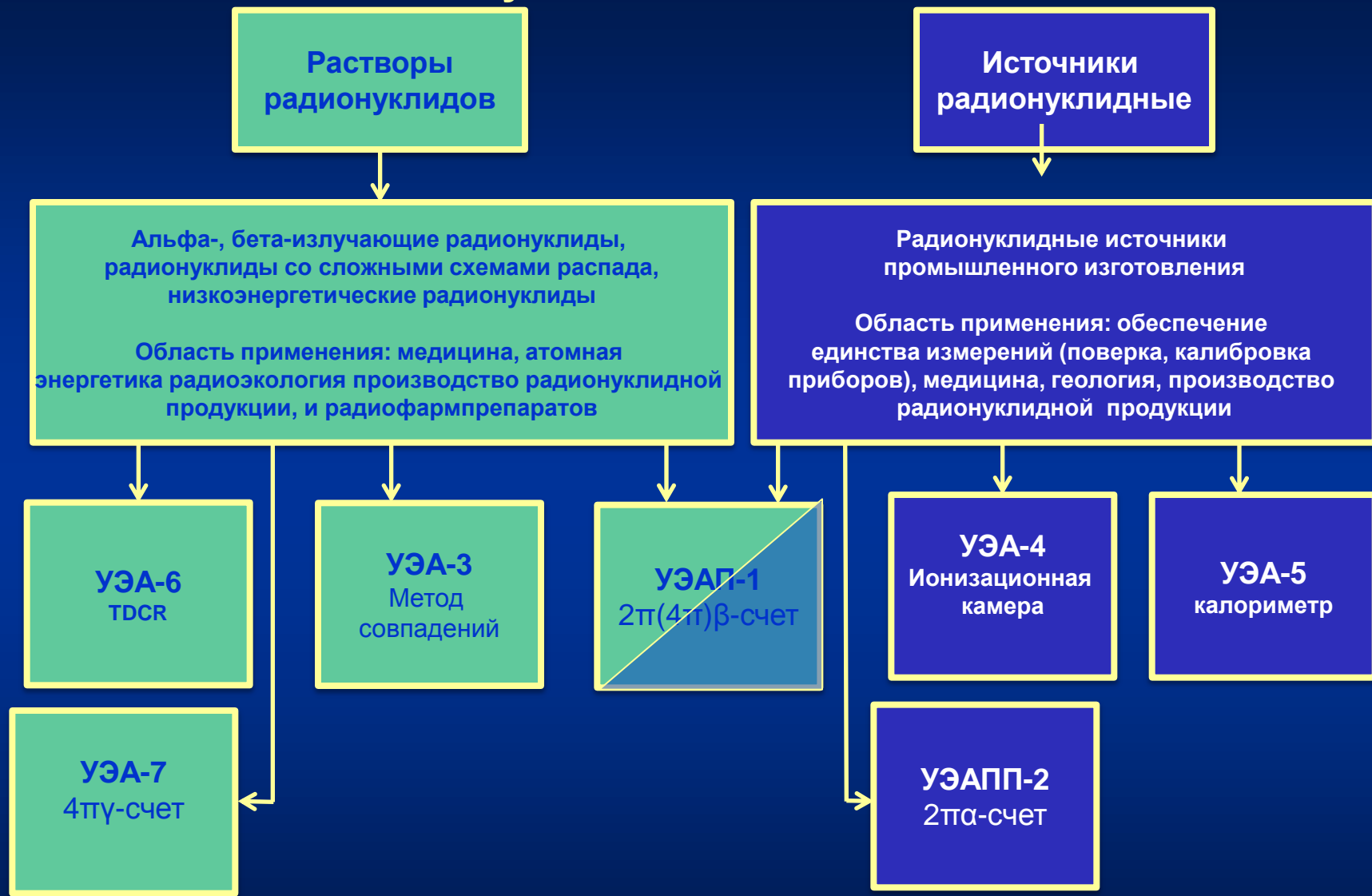


Краткая историческая справка

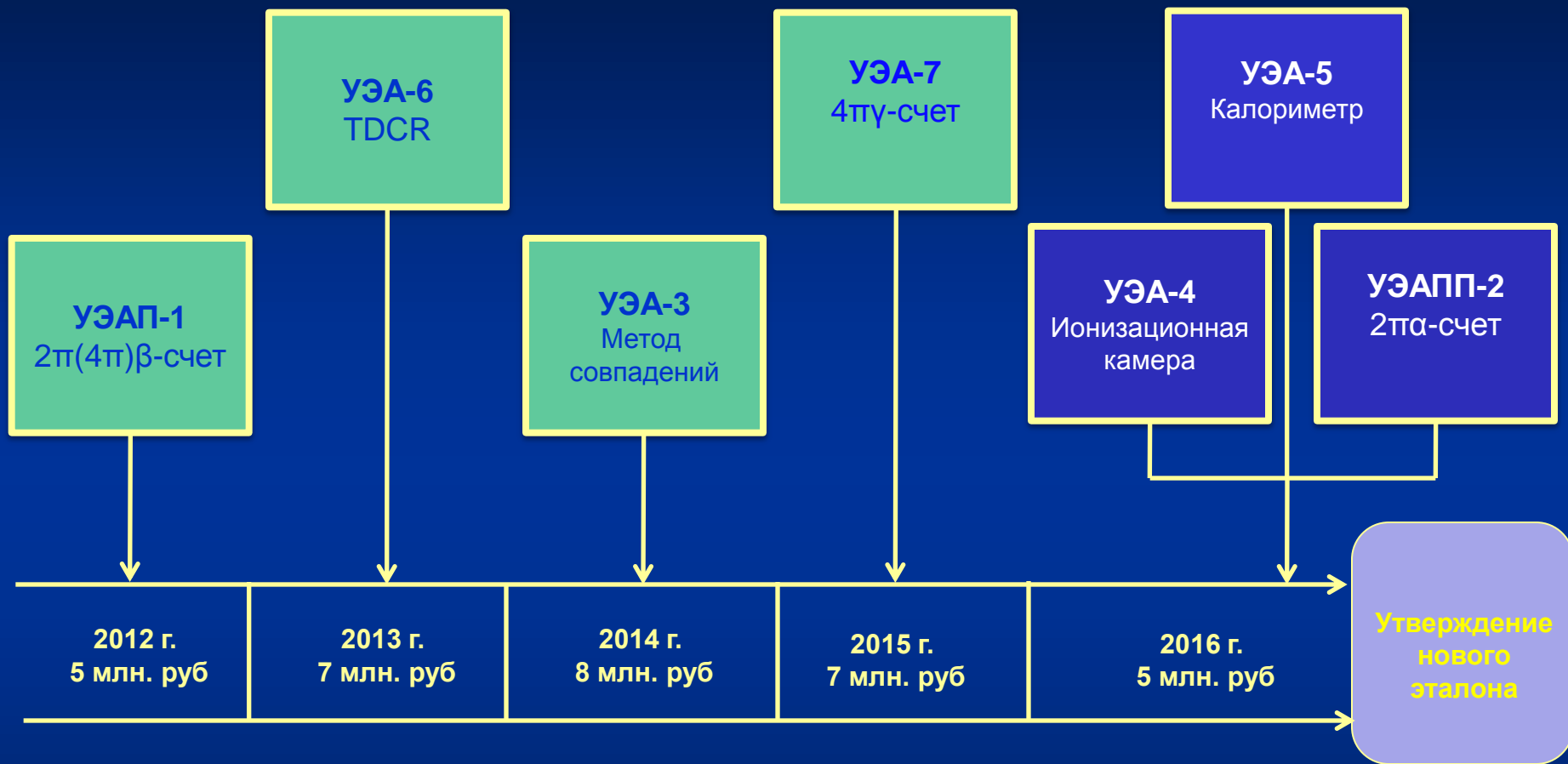
- ❑ 1896 г. Открытие явления радиоактивности А. Беккерелем
- ❑ 1898 г. Открытие радия М. Кюри
- ❑ 1903 г. Первые исследования под руководством Д.И. Менделеева в области радиоактивности в Главной Палате Мер и Весов
- ❑ 1911 г. Создание первого Международного эталона массы радия
- ❑ 1918 г. Создание радиометрической лаборатории в России
- ❑ 1964-1969 гг. Создание и утверждение Государственного первичного эталона единицы активности радионуклидов (ГЭТ 6-69)
- ❑ 1972 г. Утверждение модернизированного эталона ГЭТ 6-72
- ❑ 1984 г. Утверждение модернизированного эталона ГЭТ 6-84
- ❑ 1995 г. Утверждение модернизированного эталона ГЭТ 6-95



Измерения активности радионуклидов, потока частиц и фотонов на установках ГЭТ 6-2016



Этапы совершенствования эталона ГЭТ 6-95



Состав ГЭТ 6-2016. Основные направления совершенствования

- ❑ **Установка УЭАП-1** со счетчиком бета-излучения для воспроизведения единиц активности радионуклидов и потока бета-частиц методом $2\pi(4\pi)\beta$ -счета
- ❑ **Установка УЭАПП-2** со счетчиками альфа-излучения для воспроизведения единиц активности радионуклидов и потока альфа-частиц методом $2\pi\alpha$ -счета и определенного телесного угла
- ❑ **Установка УЭА-3** со счетчиками альфа-, бета-, гамма-, рентгеновского излучений для воспроизведения единиц активности радионуклидов методами $4\pi\alpha(\beta)$ - γ совпадений и КХ- γ совпадений
- ❑ **Установка УЭА-4** со сферической ионизационной камерой для воспроизведения единицы активности радионуклидов
- ❑ **Установка УЭА-5** на основе калориметра для воспроизведения единицы активности радионуклидов фотонного излучения
- ❑ **Установка УЭА-6** с жидким сцинтиллятором, для воспроизведения единиц активности радионуклидов методом счета отношений двойных и тройных совпадений в жидком сцинтилляторе (метод TDCR)
- ❑ **Установка УЭА-7** со сцинтилляционным блоком детектирования для воспроизведения единицы активности методом $4\pi\gamma$ -счета
- ❑ **Комплект источников** бета-излучения на основе радионуклидов $^{90}\text{Sr}+^{90}\text{Y}$ типа СО
- ❑ **Весы** для измерения массы раствора радионуклида

Модернизация
(измерительный канал, система газового наполнения)

Модернизация
(измерительный канал, система газового наполнения)

Модернизация
(устройства детектирования, измерительный канал, система газового наполнения)

Модернизация
(измерительный канал)

Модернизация
(измерительный канал)

Создана новая установка

Создана новая установка

Введены в состав ГПЭ



Установка УЭАП-1 2π(4π)β-счетчик (малый счетчик)



Вид радионуклидных источников:
растворы радионуклидов

Радионуклиды : ^{14}C , ^{32}P , ^{35}S , ^{36}Cl , ^{63}Ni , ^{89}Sr ,
 $^{90}\text{Sr}+^{90}\text{Y}$, ^{99}Tc , ^{147}Pm , ^{204}Tl

Диапазоны измерений:
от $1 \cdot 10^1$ до $1 \cdot 10^5$ Бк
от $1 \cdot 10^3$ до $1 \cdot 10^6$ Бк·г⁻¹

Расширенная неопределенность (k=2) от
0,2 до 3 %

Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д. И. Менделеева



Установка УЭАП-1 2π(4π)β-счетчик (большой счетчик)



Вид радионуклидных источников:
растворы радионуклидов,
радионуклидные источники типов
1С0 – 6 С0, ОРИБИ

Радионуклиды : ^{90}Sr , ^{14}C , ^{137}Cs ,
 ^{60}Co , ^{147}Pm , ^{63}Ni , ^{204}Tl , ^{106}Ru , ^{36}Cl

Диапазоны измерений :

от $1 \cdot 10^1$ до $1 \cdot 10^5$ Бк

от $1 \cdot 10^3$ до $1 \cdot 10^6$ Бк·г⁻¹

от $1 \cdot 10^1$ до $2 \cdot 10^4$ с⁻¹

Расширенная неопределенность (k=2)

от 0,5 до 4 %

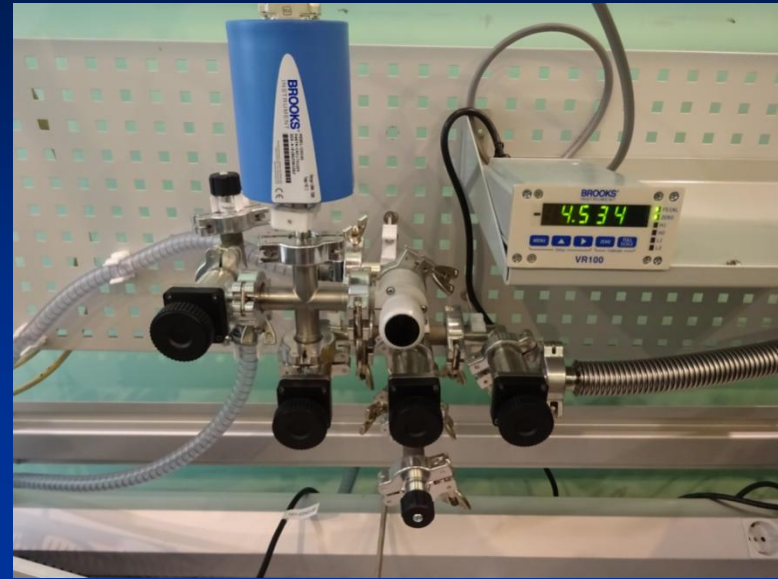


Воспроизведение единицы удельной активности радионуклидов на установке УЭАП-1

$$A_m = \frac{n - n_{\phi}}{\eta \cdot p_{\beta} \cdot p_k \cdot m \cdot (1 - n \cdot \tau)} \cdot (1 + f_1 + f_2 - f_3)$$

Источники погрешности, неопределенности	⁸⁹ Sr			
	Неопределенность		Погрешность	
	u _A ·10 ²	u _B ·10 ²	S·10 ²	θ·10 ²
Скорость счета импульсов от измеряемого источника, n	0,02	-	0,02	-
Фоновая скорость счета импульсов, n _φ	0,02	-	0,02	-
Масса раствора радионуклида, m	0,01	-	0,01	-
Мертвое время счетчика, τ	0,02	-	0,02	-
Интенсивность перехода, p _β	-	0,04	-	0,07
Поправочный коэффициент на внутреннюю конверсию, p _k	-	-	-	-
Чувствительность, η	-	0,003	-	0,005
Поправочный коэффициент на поглощение в пленке, f ₁	-	0,20	-	0,36
Поправочный коэффициент на поглощение в активном слое, f ₂	-	-	-	-
Поправочный коэффициент на чувствительность к гамма-квантам, f ₃	-	0,005	-	0,009
Суммарное значение	0,04	0,30	0,04	0,51

Установка УЭАП-2 2тл-счетчик



Вид радионуклидных источников:
промышленные радионуклидные
источники типов 1П9 – 6П9, 1У4 – 6У4,
1У8 – 6У8, ОСАИ

Радионуклиды : ^{239}Pu , ^{238}Pu , ^{234}U , ^{238}U ,
 ^{244}Cm , ^{241}Am , ^{226}Ra , ^{228}Th , ^{233}U

Диапазоны измерений:

от 10 до $1 \cdot 10^5$ Бк

от 5 до $5 \cdot 10^4$ с $^{-1}$

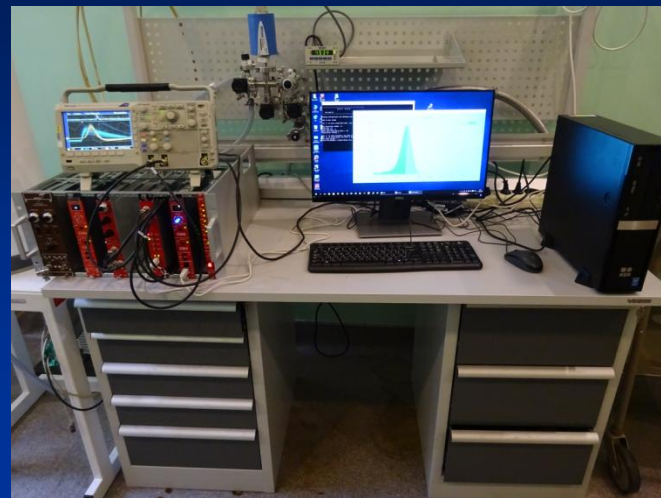
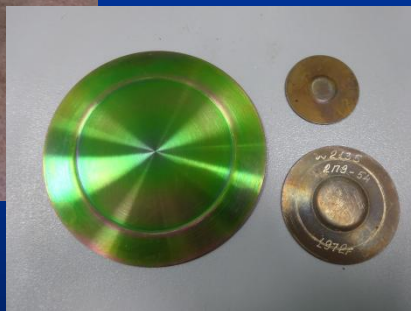
Расширенная неопределенность (k=2)

от 0,8 до 1,0 %

Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д. И. Менделеева



Установка УЭАП-2 счетчик α -излучения в определенном телесном угле



Вид радионуклидных источников:
промышленные радионуклидные
источники типов 1П9 – 6П9, 1У4 – 6У4,
1У8 – 6У8, ОСАИ

Радионуклиды : ^{239}Pu , ^{238}Pu , ^{234}U , ^{238}U ,
 ^{244}Cm , ^{241}Am , ^{226}Ra , ^{228}Th , ^{233}U

Диапазоны измерений:
от $5 \cdot 10^4$ до $5 \cdot 10^8$ Бк
от $5 \cdot 10^4$ до $3 \cdot 10^8$ с $^{-1}$

Расширенная неопределенность ($k=2$)
от 0,5 до 1,2 %

Воспроизведение единиц потока частиц и активности радионуклидов на установке УЭАП-2

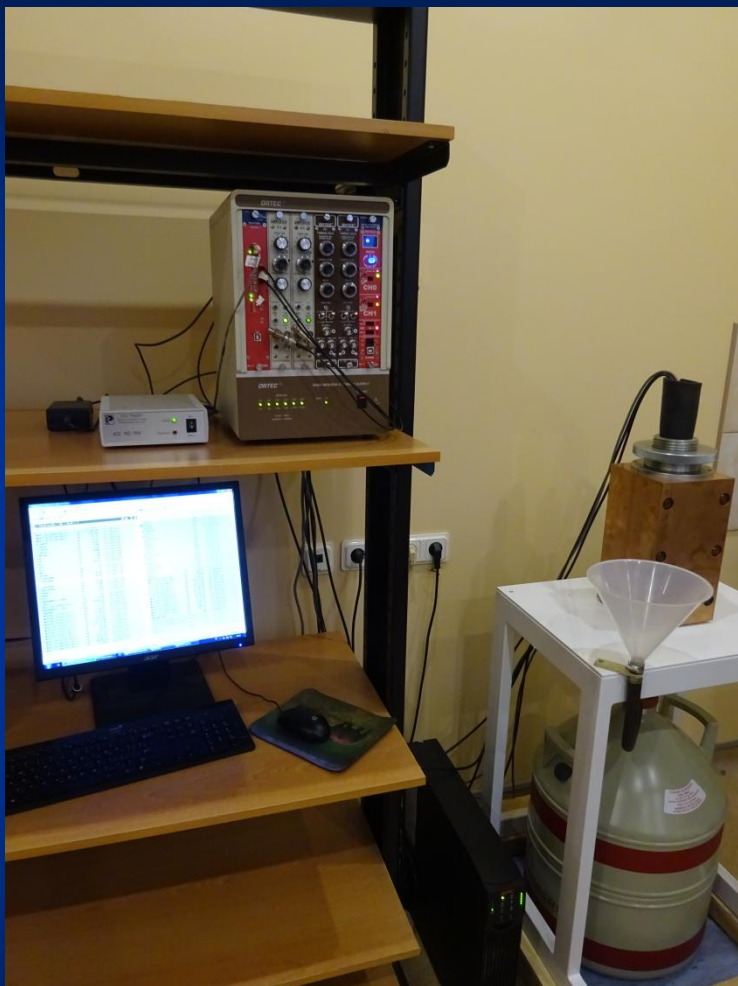
$$\dot{N} = \frac{1}{\eta} \cdot \left(\frac{n}{1 - \tau \cdot n} - n_{\phi} \right)$$

$$A = \frac{1}{\eta \cdot G} \cdot \left(\frac{n}{1 - \tau \cdot n} - n_{\phi} \right)$$

Источники погрешности, неопределенности	Неопределенность		Погрешность	
	$u_A \cdot 10^2$	$u_B \cdot 10^2$	$S \cdot 10^2$	$\theta \cdot 10^2$
Скорость счета импульсов от измеряемого источника, n	0,02-0,14	-	0,02-0,14	-
Фоновая скорость счета импульсов, n_{ϕ}	0,01-0,14	-	0,01-0,14	-
Мертвое время счетчика, τ	-	0,06	-	0,11
Чувствительность, η	-	0,23	-	0,40
Геометрический фактор, G	-	0,30	-	0,51
Суммарное значение для потока частиц	0,02 - 0,20	0,24	0,02 - 0,20	0,5
Суммарное значение для активности радионуклидов	0,02 - 0,20	0,40	0,02 - 0,20	1,0



Установка УЭА-3



Вид радионуклидных источников:
растворы радионуклидов

Радионуклиды : ^{60}Co , ^{134}Cs , ^{22}Na , ^{65}Zn ,
 ^{54}Co , ^{54}Mn , ^{88}Y , ^{139}Ce

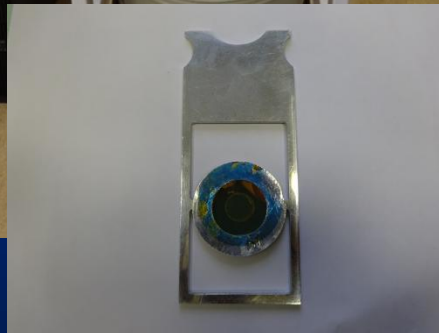
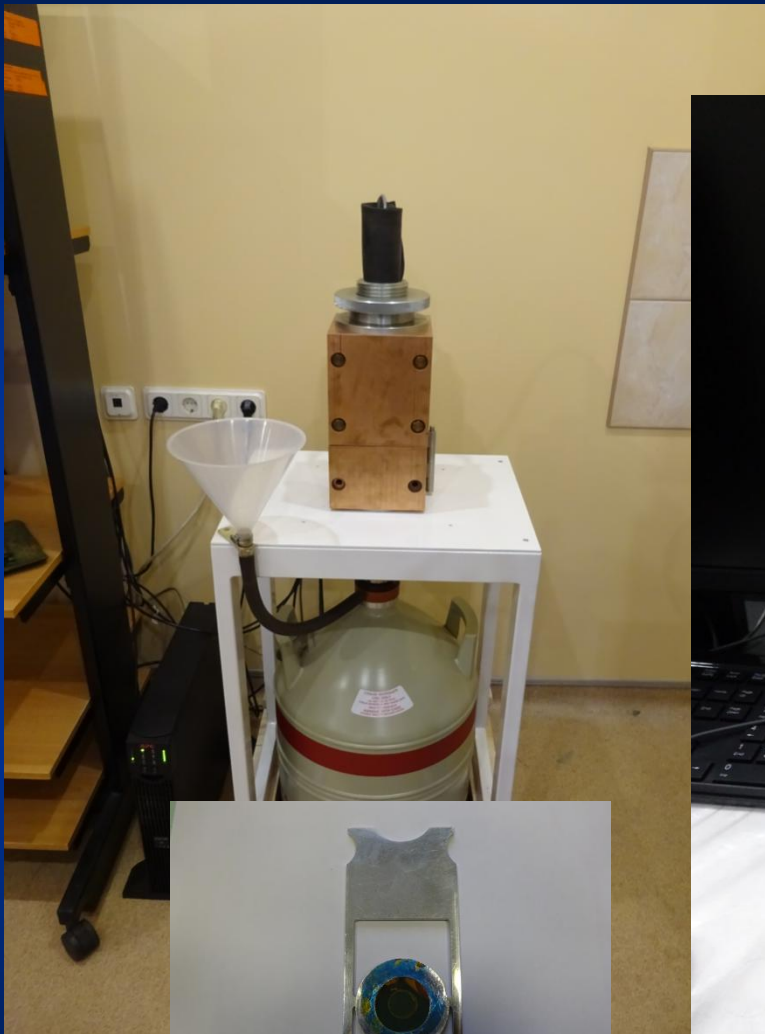
Диапазоны измерений:
от $1 \cdot 10^1$ до $5 \cdot 10^4$ Бк
от $1 \cdot 10^3$ до $1 \cdot 10^6$ Бк·г⁻¹

Расширенная неопределенность (k=2) от
0,2 до 5 %

Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д. И. Менделеева



Устройства детектирования установки УЭА-3 УД-1



УД-2



Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д. И. Менделеева

Воспроизведение единиц удельной активности радионуклидов на установке УЭА-3

$$A_m = \frac{k \cdot (n_\gamma - n_{\phi\gamma}) \cdot (n_{KX} - n_{\phi KX})}{m \cdot (n_c - n_{\phi c})} \cdot k_\tau \cdot k_{\tau R} \cdot k_c \cdot k_{KX\gamma} \cdot K_D$$

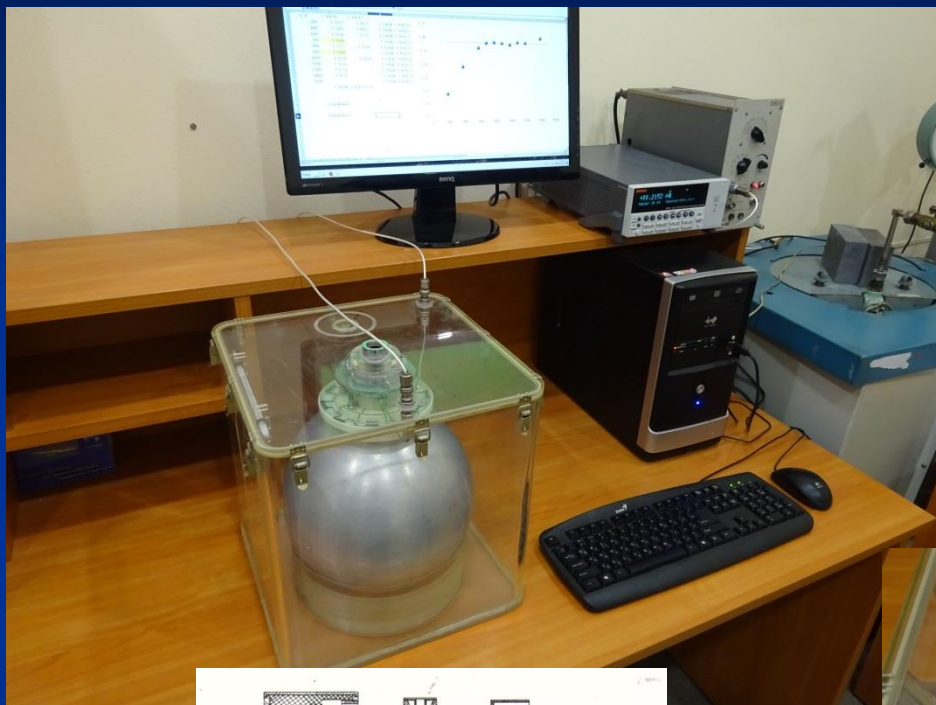
$$A_m = \frac{k \cdot (n - n_\phi) \cdot (n_\gamma - n_{\phi\gamma})}{m \cdot (n_c - n_{\phi c}) \cdot \left(1 - \frac{2 \cdot \tau_R \cdot n \cdot n_\gamma}{n_c}\right)} \cdot \left(1 + \frac{n_c \cdot \tau_m - \tau_R \cdot (n + n_\gamma)}{\left(1 - \frac{\tau_m \cdot (n + n_\gamma)}{2}\right)}\right)$$

Источники погрешности, неопределенности	Неопределенность		Погрешность	
	$u_A \cdot 10^2$	$u_B \cdot 10^2$	$S \cdot 10^2$	$\theta \cdot 10^2$
Скорость счета импульсов в альфа-(бета-) канале, n	0,005-0,11	-	0,005-0,11	-
Скорость счета импульсов в гамма-канале, n_γ	0,005-0,11	-	0,005-0,11	-
Скорость счета импульсов в канале КХ, n_{KX}	0,01-0,10		0,01-0,10	
Скорость счета импульсов в канале совпадений, n_c	0,005-0,12	-	0,005-0,12	-
Фоновая скорость счета импульсов в альфа-(бета-) канале, n_ϕ	0,001-0,01	-	0,001-0,01	-
Фоновая скорость счета импульсов в гамма-канале, $n_{\phi\gamma}$	0,001-0,01	-	0,001-0,01	-
Фоновая скорость счета импульсов в канале КХ, $n_{\phi KX}$	0,01-0,10		0,01-0,10	
Фоновая скорость счета импульсов в канале совпадений, $n_{\phi c}$	0,001-0,10	-	0,001-0,01	-
Масса раствора радионуклида, m	-	0,03	-	0,05
Мертвое время счетчика, τ_m	-	0,01	-	0,01
Разрешающее время счетчика, τ_R	-	0,01	-	0,01
Коэффициент перехода, k	-	0,06-1,6	-	0,1-2,8
Поправочный коэффициент на мертвое время, k_τ	-	0,01-0,17	-	0,02-0,30
Поправочный коэффициент на разрешающее время, $k_{\tau R}$	-	0,02-0,17	-	0,04-0,30
Поправочный коэффициент, учитывающий распад радионуклида, k_c	-	0,02-1,0	-	0,03-1,7
Поправочный коэффициент, учитывающий влияние гамма-излучения, $k_{KX\gamma}$	-	0,01-1,0	-	0,02-1,8
Поправочный коэффициент, учитывающий схему распада радионуклида, K_D	-	0,02-0,75	-	0,03-1,3
Суммарное значение (УД-1)	0,02-0,24	0,08-2,3	0,02-0,24	0,20-3,9
Суммарное значение (УД-2)	0,01-0,22	0,09-2,4	0,01-0,22	0,20-4,0

Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д. И. Менделеева



Установка УЭА-4 с ионизационной камерой

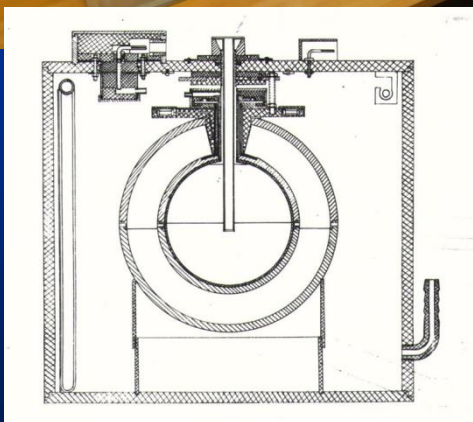


Вид радионуклидных источников:
промышленные радионуклидные
источники типов ГИК, ИГИЦ, ГИИД

Радионуклиды : ^{60}Co , ^{137}Cs , ^{192}Ir

Диапазон измерений от $5 \cdot 10^6$ до $5 \cdot 10^{11}$ Бк

Расширенная неопределенность ($k=2$)
от 1,0 до 1,5 %



Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д. И. Менделеева



Воспроизведение единицы активности радионуклидов на установке УЭА-4

$$A = \frac{(I - I_{\phi}) \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3}{J}$$

Источники погрешности, неопределенности	Неопределенность		Погрешность	
	$u_A \cdot 10^2$	$u_B \cdot 10^2$	$S \cdot 10^2$	$\theta \cdot 10^2$
Ионизационный ток камеры с источником, I	0,12	-	0,12	-
Фоновый ионизационный ток, I_{ϕ}	0,01	-	0,01	-
Чувствительность ионизационной камеры, J	-	0,17	-	0,29
Поправочный коэффициент, учитывающий влияние климатических условий, k_1	-	0,29	-	0,50
Поправочный коэффициент, учитывающий поглощение излучения в активной части источника, k_2	-	0,29	-	0,50
Поправочный коэффициент, учитывающий поглощение излучения в оболочке источника, k_3	-	0,29	-	0,50
Суммарное значение	0,11	0,53	0,11	1,3



Установка УЭА-5 калориметр



Вид радионуклидных источников:
промышленные радионуклидные
источники типов ГИК, ИГИЦ, ИГИА, ГИИД ...

Радионуклиды : ^{60}Co , ^{137}Cs , ^{241}Am , ^{192}Ir ...

Диапазон измерений от $5 \cdot 10^8$ до $5 \cdot 10^{11}$ Бк

Расширенная неопределенность ($k=2$)
от 0,5 до 0,7 %

Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д. И. Менделеева

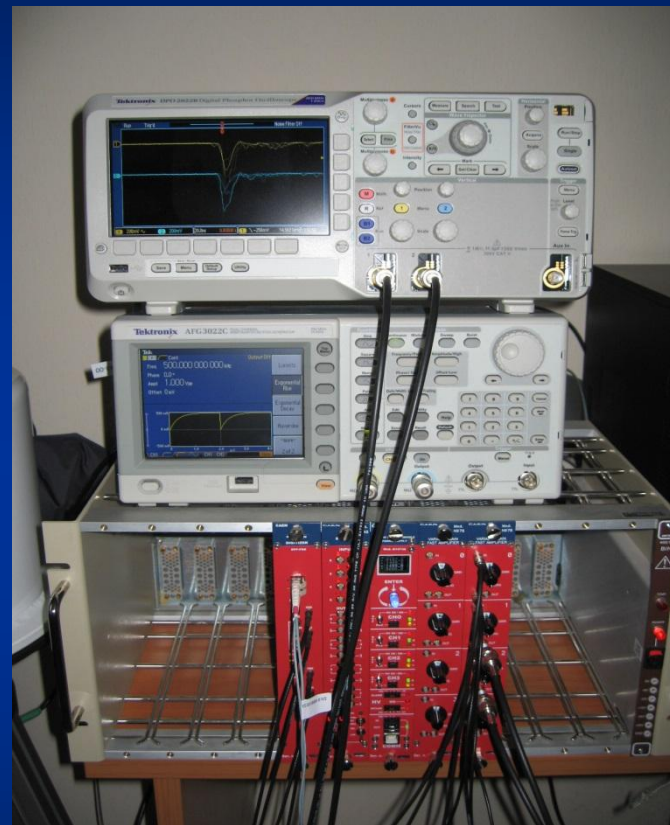
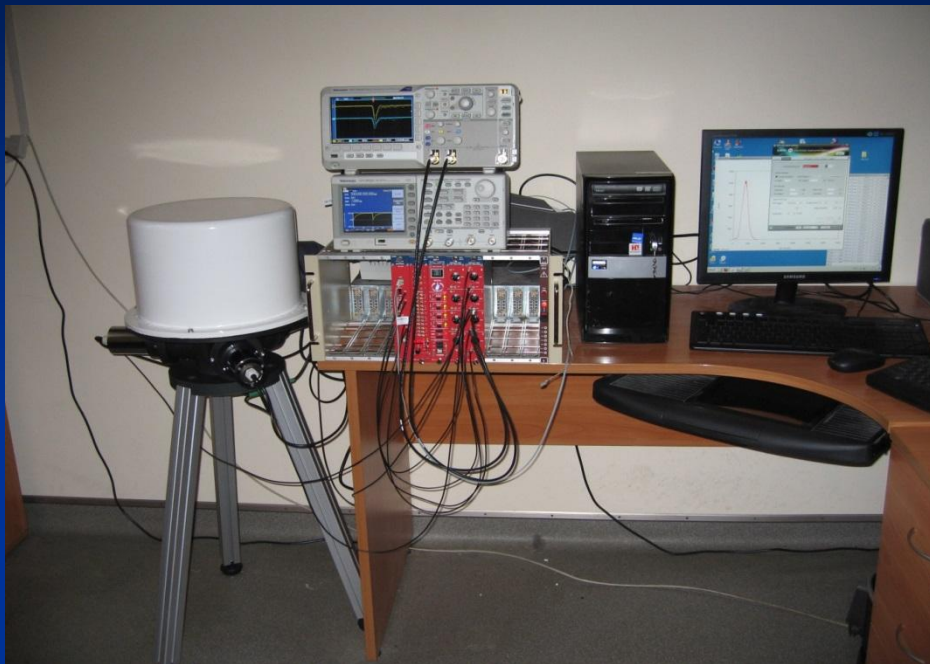


Воспроизведение единицы активности радионуклидов на установке УЭА-5

$$A = \frac{U}{1,602 \cdot 10^{-16} \cdot E_p \cdot J}$$

Источники погрешности, неопределенности	Неопределенность		Погрешность	
	$u_A \cdot 10^2$	$u_B \cdot 10^2$	$S \cdot 10^2$	$\theta \cdot 10^2$
Напряжение на термомпаре, U	0,12	-	0,12	-
Средняя энергия всех излучений радионуклида, поглощаемая в калориметре на один акт распада ядра, E_p	-	0,12	-	0,21
Калибровочный коэффициент калориметра, J	-	0,29	-	0,50
$1,602 \cdot 10^{-16}$ – коэффициент перехода, Дж·кэВ ⁻¹	-	0,0003	-	0,0005
Суммарное значение	0,12	0,31	0,12	0,71

Установка УЭА-6 (метод TDCR) с жидким сцинтиллятором (новая установка)



Вид радионуклидных источников:
растворы радионуклидов

Радионуклиды : ^3H , ^{14}C , ^{18}F , $^{90}\text{Sr}+^{90}\text{Y}$, ^{131}I , ^{204}Tl , ^{210}Pb ,
 ^{239}Pu

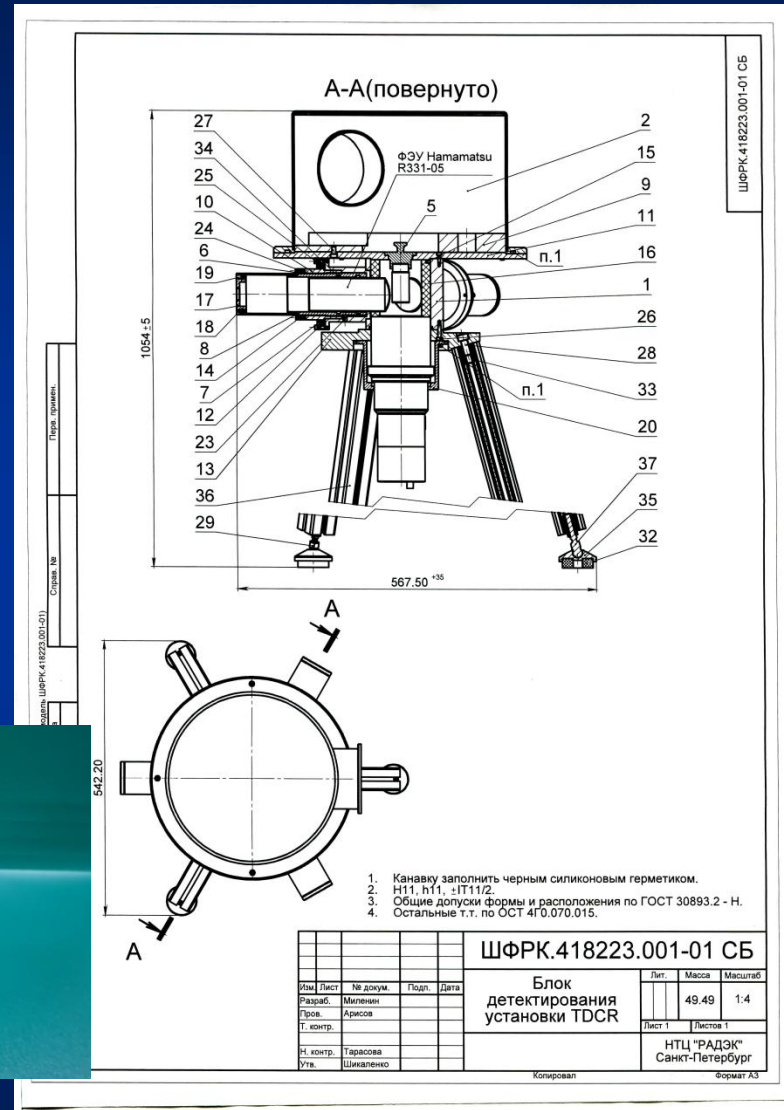
Диапазоны измерений:
от 10 до $5 \cdot 10^4$ Бк
от 20 до $1 \cdot 10^{10}$ Бк·г⁻¹

Расширенная неопределенность (k=2) от 0,12 до 5 %

Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д. И. Менделеева



Устройство детектирования УЭА-6



Воспроизведение единицы на установке УЭА-6

$$A_m = \frac{n - n_{\Phi}}{\eta \cdot m}$$

Источники погрешности, неопределенности	Неопределенность		Погрешность	
	$u_A \cdot 10^2$	$u_B \cdot 10^2$	$S \cdot 10^2$	$\theta \cdot 10^2$
Скорость счета импульсов от измеряемого источника, n	0,01-0,20	-	0,01-0,20	-
Фоновая скорость счета импульсов, n_{Φ}	0,001-0,01	-	0,001-0,01	-
Чувствительность устройства детектирования, η	-	0,06-2,4	-	0,10-4,0
Масса раствора радионуклида, m	-	0,01	-	0,02
Суммарное значение	0,01-0,20	0,06-2,3	0,01-0,20	0,12-4,0

Установка УЭА-7 со сцинтиллятором NaI(Tl) для фотонного излучения (4тту) (новая установка)



Вид радионуклидных источников:
растворы радионуклидов, источники типа
ОСГИ

Радионуклиды : ^{54}Mn , ^{57}Co , ^{60}Co , ^{60}Co , ^{65}Zn ,
 ^{109}Cd , ^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{133}Ba , ^{113}Sn , ^{152}Eu , ^{241}Am

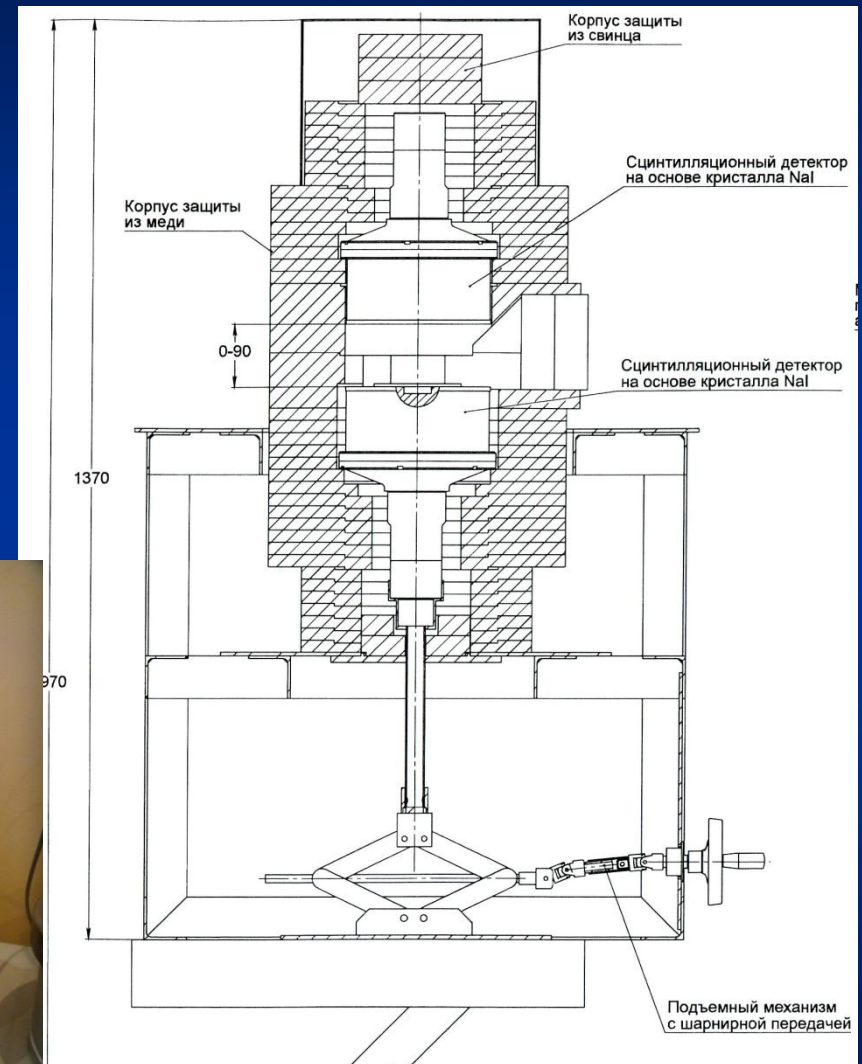
Диапазоны измерений: от 10 до $1 \cdot 10^5$ Бк
от $1 \cdot 10^2$ до $5 \cdot 10^6$ Бк·г $^{-1}$
от 5 до $5 \cdot 10^4$ с $^{-1}$

Расширенная неопределенность (k=2)
от 0,21 до 3,5 %

Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д. И. Менделеева



Устройство детектирования УЭА-7



Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д. И. Менделеева



Воспроизведение единиц на установке УЭА-7

$$\dot{N} = \frac{n_1 + n_2 - n_c - n_\phi}{\eta}$$

$$A_m = \frac{n_1 + n_2 - n_c - n_\phi}{\eta \cdot m}$$

Источники погрешности, неопределенности	Неопределенность		Погрешность	
	$u_A \cdot 10^2$	$u_B \cdot 10^2$	$S \cdot 10^2$	$\theta \cdot 10^2$
Скорость счета импульсов в канале первого детектора, n_1	0,03-0,06	-	0,03-0,06	-
Скорость счета импульсов в канале второго детектора, n_2	0,03-0,06		0,03-0,06	
Скорость счета импульсов в канале совпадений, n_c	0,03-0,06		0,03-0,06	
Фоновая скорость счета импульсов, n_ϕ	0,01-0,02	-	0,01-0,02	-
Чувствительность устройства детектирования, η	-	0,06-1,7	-	0,10-3,0
Масса раствора радионуклида, m	-	0,07	-	0,12
Суммарное значение при измерении: - удельной активности радионуклидов - потока фотонов	0,05-0,10 0,05-0,10	0,09-1,7 0,06-1,7	0,05-0,10 0,05-0,10	0,22-3,0 0,10-3,0

Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д. И. Менделеева



Основные метрологические характеристики ГЭТ 6-2016

Наименование физической величины	Диапазон значений	$S_0 \cdot 10^2$	$u_{A0} \cdot 10^2$	$\theta_0 \cdot 10^2$	$u_{B0} \cdot 10^2$	v_0	
Активность радионуклидов, Бк						3·10 ⁻³	
бета-излучающие	1·10 ¹ - 5·10 ¹²	0,01-0,20	0,01-0,20	0,10 – 4,0	0,06-2,3		
альфа-излучающие	1·10 ¹ - 5·10 ¹²						
альфа-, гамма-, бета-гамма-излучающие, электрозахватные	1·10 ² - 5·10 ¹¹						
спонтанно-делящиеся	5·10 ⁴ - 1·10 ⁹						
Удельная активность радионуклидов, Бк·г⁻¹							
альфа-, бета-гамма-излучающие, электрозахватные	1·10 ³ - 1·10 ⁶	0,01-0,20	0,01-0,20	0,1-3,0	0,06-1,7		
гамма-излучающие	1·10 ² - 5·10 ⁶						
Поток, с⁻¹							
альфа-, бета-частицы	5 - 5·10 ⁴	0,01-0,20	0,01-0,20	0,50	0,30		
фотоны	5 - 5·10 ⁴	0,05-0,11	0,05-0,11	0,10-3,0	0,06-1,7		



Сравнение характеристик ГЭТ 6-2016 с ГЭТ 6-95 и требованиями ТЗ Установка УЭАП-1 (2012 г.)

Наименование характеристики	ГЭТ 6-95	Требования ТЗ	ГЭТ 6
Удельная активность радионуклидов, Бк·г ⁻¹	$1 \cdot 10^3 - 1 \cdot 10^6$	-	$1 \cdot 10^3 - 1 \cdot 10^6$
$S_o \cdot 10^2$	0,01 - 0,2	-	0,01 - 0,2
$\theta_o \cdot 10^2$	0,1 - 3	-	0,1 - 3
Активность радионуклидов, Бк	$1 \cdot 10^1 - 1 \cdot 10^5$	$1 \cdot 10^1 - 5 \cdot 10^8$	$1 \cdot 10^1 - 5 \cdot 10^8$
$S_o \cdot 10^2$	0,01 - 0,2	0,01 - 0,2	0,01 - 0,2
$\theta_o \cdot 10^2$	0,1 - 4	0,1 - 4	0,1 - 4
Поток бета-частиц, с ⁻¹	$1 \cdot 10^1 - 2 \cdot 10^4$	-	$1 \cdot 10^1 - 2 \cdot 10^4$
$S_o \cdot 10^2$	0,01 - 0,2	-	0,01 - 0,2
$\theta_o \cdot 10^2$	0,5	-	0,5



Сравнение характеристик ГЭТ 6-2016 с ГЭТ 6-95 и требованиями ТЗ Установка УЭА-6 (TDCR) (2013 г.)

Наименование характеристики	ГЭТ 6-95	Требования ТЗ	ГЭТ 6
Удельная активность радионуклидов, Бк·г ⁻¹	-	-	$2 \cdot 10^1 - 1 \cdot 10^{10}$
$S_0 \cdot 10^2$	-	-	0,01 - 0,20
$\theta_0 \cdot 10^2$	-	-	0,1 – 4,1
Активность радионуклидов, Бк	-	$1 \cdot 10^1 - 5 \cdot 10^4$	$1 \cdot 10^1 - 5 \cdot 10^4$
$S_0 \cdot 10^2$	-	0,01 - 0,2	0,01 - 0,20
$\theta_0 \cdot 10^2$	-	0,1 - 4	0,1 – 4,0



Сравнение характеристик ГЭТ 6-2016 с ГЭТ 6-95 и требованиями ТЗ Установка УЭА-3 (2014 г.)

Наименование характеристики	ГЭТ 6-95	Требования ТЗ	ГЭТ 6
Удельная активность радионуклидов, Бк·г ⁻¹	$1 \cdot 10^3 - 1 \cdot 10^6$	-	$1 \cdot 10^3 - 1 \cdot 10^6$
$S_0 \cdot 10^2$	0,01 - 0,2	-	0,01 - 0,2
$\theta_0 \cdot 10^2$	0,1 - 3	-	0,10 - 3,5
Активность радионуклидов, Бк	$1 \cdot 10^1 - 5 \cdot 10^4$ $1 \cdot 10^1 - 5 \cdot 10^8$ (с учетом разведения)	$1 \cdot 10^1 - 5 \cdot 10^4$	$1 \cdot 10^1 - 5 \cdot 10^4$ $1 \cdot 10^1 - 5 \cdot 10^8$ (с учетом разведения)
$S_0 \cdot 10^2$	0,01 - 0,2	0,01 - 0,2	0,01 - 0,2
$\theta_0 \cdot 10^2$	0,1 - 4	0,1 - 4	0,10 - 4



Сравнение характеристик ГЭТ 6-2016 с ГЭТ 6-95 и требованиями ТЗ Установка УЭА-7 (2015 г.)

Наименование характеристики	ГЭТ 6-95	Требования ТЗ	ГЭТ 6
Удельная активность радионуклидов, Бк·г ⁻¹	-	-	$1 \cdot 10^2 - 5 \cdot 10^6$
$S_0 \cdot 10^2$	-	-	0,1 - 0,5
$\theta_0 \cdot 10^2$	-	-	0,5 - 4
Активность радионуклидов, Бк	-	$1 \cdot 10^1 - 5 \cdot 10^4$	$1 \cdot 10^1 - 1 \cdot 10^5$
$S_0 \cdot 10^2$	-	0,05 - 0,1	0,05 - 0,11
$\theta_0 \cdot 10^2$	-	0,1 - 3	0,1 - 3



Международные работы ВНИИМ им. Д.И. Менделеева в области обеспечения единства измерений ионизирующих излучений

Область измерений	Количество подтвержденных калибровочных и измерительных возможностей (СМС)	Количество выполненных международных сличений 2003-2016 гг.
Дозиметрия	133	8
Активность радионуклидов	124	15
Нейтронные измерения	38	12



Сравнение метрологических характеристик ГЭТ 6-2016 с аналогичными характеристиками первичных эталонов зарубежных стран

Наименование характеристики	ГЭТ 6-2016	NIST (США)	РТВ (Германия)	NPL (Великобритания)
Удельная активность ^{60}Co, метод измерений - 4тβγ-совпадения				
Диапазон измерений, Бк·г ⁻¹	$1 \cdot 10^4 - 4 \cdot 10^6$	$6,6 \cdot 10^3 - 1,6 \cdot 10^8$	$4 \cdot 10^3 - 2 \cdot 10^7$	$6 \cdot 10^2 - 6 \cdot 10^3$
Расширенная неопределенность, % (k=2)	0,5	0,7	0,5	1,0
Удельная активность ^{137}Cs, метод измерений - 4тβγ-совпадения				
Диапазон измерений, Бк·г ⁻¹	$1 \cdot 10^4 - 1 \cdot 10^6$	$2,6 \cdot 10^4 - 3,8 \cdot 10^8$	$4 \cdot 10^2 - 2 \cdot 10^7$	$1 - 1 \cdot 10^3$
Расширенная неопределенность, % (k=2)	1,0	0,8	1,0 - 1,4	1,4

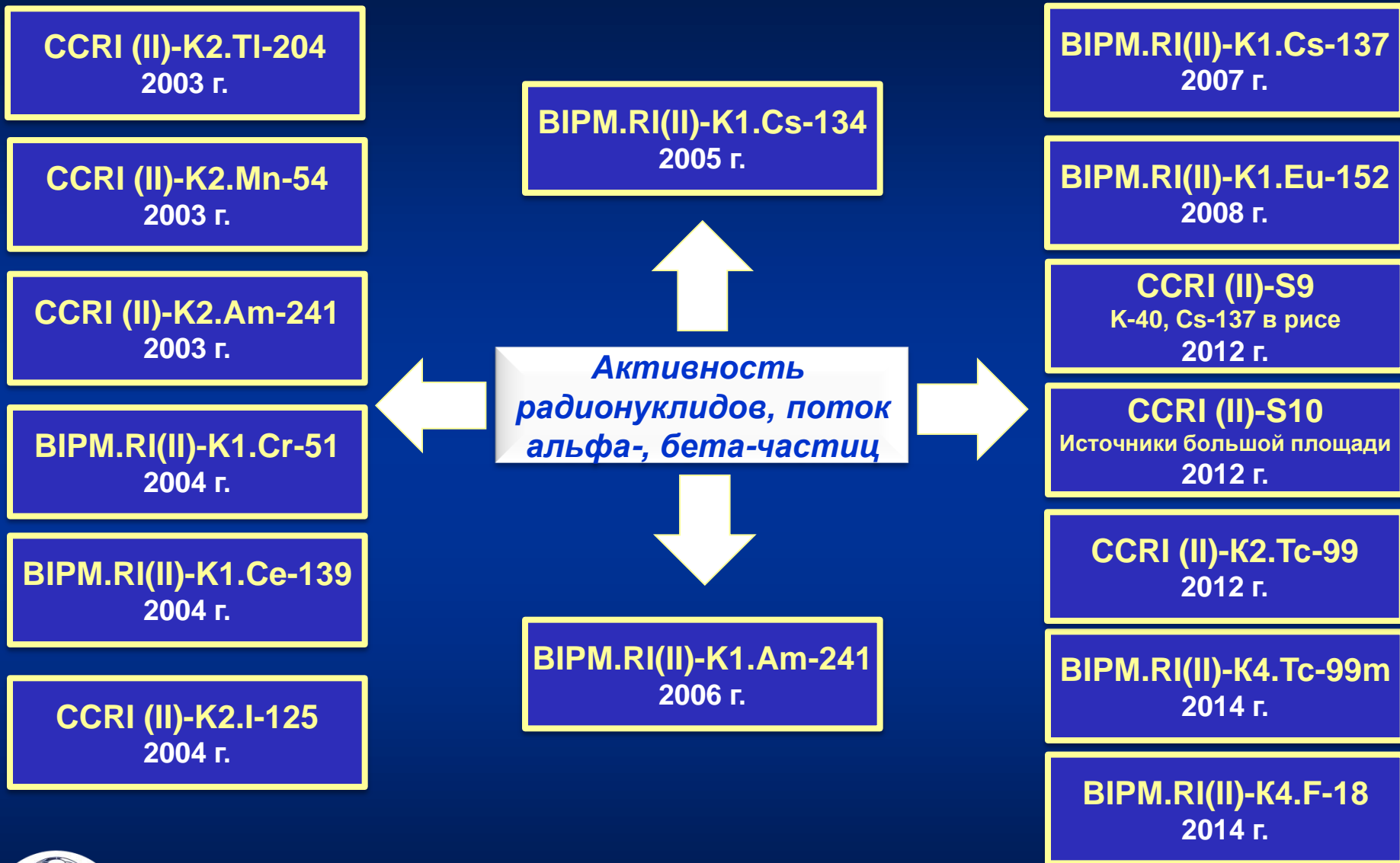


Сравнение метрологических характеристик ГЭТ 6-2016 с аналогичными характеристиками первичных эталонов зарубежных стран

Наименование характеристики	ГЭТ 6-2016	NIST (США)	РТВ (Германия)	NPL (Великобритания)
Поток β-частиц, радионуклид $^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$				
Диапазон измерений, с^{-1}	$1 \cdot 10^2 - 1 \cdot 10^4$	$1 - 1 \cdot 10^4$	-	$2 \cdot 10^3 - 1 \cdot 10^4$
Расширенная неопределенность, % (k=2)	1,0	1,5	-	1,1
Поток α-частиц, радионуклид ^{241}Am				
Диапазон измерений, с^{-1}	$1 \cdot 10^1 - 1 \cdot 10^4$	$1 - 1 \cdot 10^4$	$2,5 \cdot 10^2 - 1 \cdot 10^4$	$2 \cdot 10^3 - 1 \cdot 10^4$
Расширенная неопределенность, % (k=2)	1,0	2,0	1,0 - 1,5	1,1



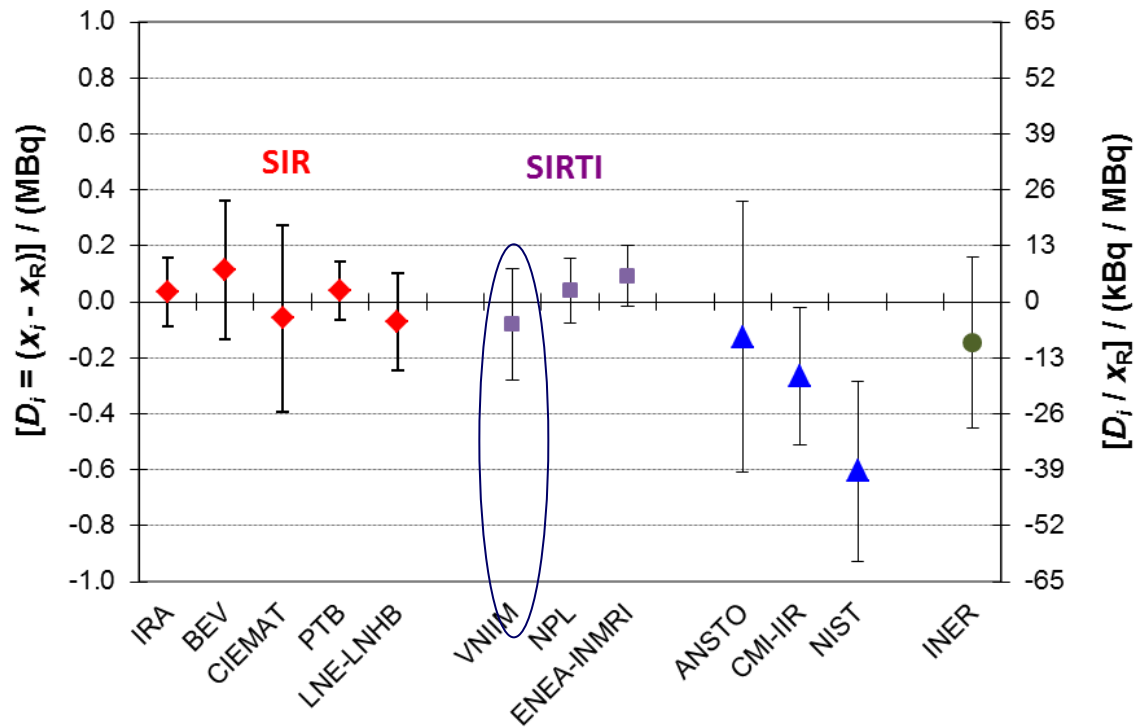
Сличения, в которых принимал участие ГЭТ 6-95



Результаты ключевых сличений BIPM.RI(II)-K4.F-18

BIPM.RI(II)-K1.F-18, BIPM.RI(II)-K4.F-18,
2001 CCRI(II)-K3.F-18 and 2001 APMP.RI(II)-K3.F-18

Degrees of equivalence for equivalent activity of ^{18}F



Результат
ВНИИМ
 $D_i = -0,08$
 $U_i = 0,20$

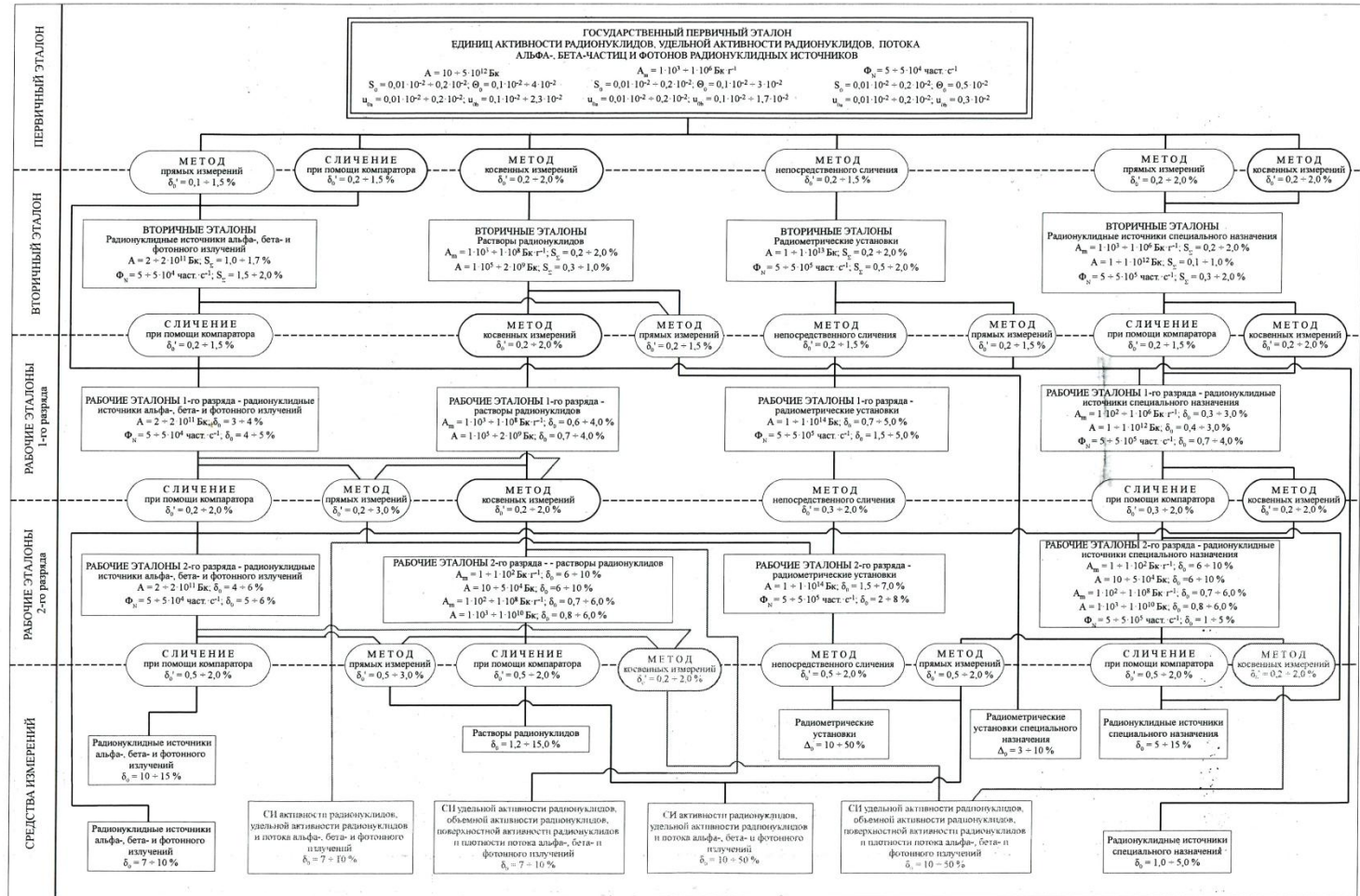
Update of the BIPM comparison BIPM.RI(II)-K1.F-18 of activity measurements of the radionuclide ^{18}F to include the 2010 result of the LNE-LNHB (France) C Michotte¹, G Ratel¹, S Courte¹, P Cassette² and M Moune²
2016 *Metrologia* 53 06004

Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д. И. Менделеева



Государственная поверочная схема для средств измерений активности радионуклидов, удельной активности радионуклидов, потока и плотности потока альфа-, бета-частиц и фотонов радионуклидных источников

ГОСУДАРСТВЕННАЯ ПОВЕРОЧНАЯ СХЕМА
 ДЛЯ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ АКТИВНОСТИ РАДИОНУКЛИДОВ, ПОТОКА И ПЛОТНОСТИ ПОТОКА АЛЬФА-, БЕТА-ЧАСТИЦ И ФОТОНОВ РАДИОНУКЛИДНЫХ ИСТОЧНИКОВ



Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д. И. Менделеева



Основные изменения в поверочной схеме

- ❑ Введен метод косвенных измерений для передачи единицы удельной активности от первичного эталона к вторичным и далее к рабочим эталонам- растворам радионуклидов
- ❑ Введена ветвь поверки рабочих эталонов- радионуклидных источников 1 разряда - на установках из состава первичного эталона для приведения поверочной схемы в соответствие с действующей практикой
- ❑ Введены ветви передачи единицы активности радионуклидов от радиометрических установок к растворам радионуклидов и от растворов к радиометрическим установкам
- ❑ Введена ветвь передачи единиц от радиометрических установок к радиометрическим источникам методом прямых измерений
- ❑ Введен метод косвенных измерений для передачи единицы удельной активности от вторичного эталона к рабочим эталонам для ветви поверочной схемы, относящейся к источникам специального назначения
- ❑ Средства измерений активности радионуклидов и потока излучения объединены в две группы , сформированные по пределу погрешности измерений от 5 до 10 % и от 10 до 50 % и имеют прослеживаемость к рабочим эталонам 1 и 2 разрядов



Результаты совершенствования первичного эталона

- ❑ **Расширен диапазон воспроизведения единицы** удельной активности альфа-, бета-излучающих радионуклидов до $1 \cdot 10^{10}$ Бк·г⁻¹
- ❑ **В состав эталона включены две новые установки**, реализующие методы измерений, которые применяются в ведущих НМИ и при организации ключевых сличений
- ❑ **Расширены функциональные возможности эталона:** в перечень измеряемых радионуклидов включены новые радионуклиды, применяемые в ядерной медицине
- ❑ **Нестабильность** эталона за год снизилась в 2 раза
- ❑ По основным метрологическим характеристикам и техническому оснащению эталон соответствует лучшим зарубежным аналогам
- ❑ Проект поверочной схемы актуализирован с учетом потребностей метрологической практики



План мероприятий по внедрению ГЭТ 6

1–2 кв. 2017 г.	Подготовка публикаций по ГПЭ ГЭТ 6
2017-2018 г.	Разработка межгосударственного стандарта - поверочной схемы
2017 -2018 гг.	Проведение дополнительных сличений в рамках проекта КОOMET № 389/RU/07 «Сличения калибровочных коэффициентов ионизационных камер колодезного типа (дозкалибраторов) для медицинских радионуклидов»
2017 г.	Разработка методики калибровки растворов радионуклидов методом TDCR
2017 -2018 гг.	Проведение НИОКР по разработке и созданию вторичного эталона единицы активности радионуклидов – источников типа ОСГИ
2017 -2018 гг.	Проведение НИР по разработке и созданию рабочего эталона единиц активности радионуклидов и потока частиц – транспортируемой радиометрической установки
2018 г.	Внесение изменений в таблицы СМС
2018–2019 гг.	Разработка нормативных документов по поверке эталонных радиометрических источников альфа-, бета-излучений взамен ГОСТ 8.581-2003 , ГОСТ 8.582-2003
2018–2021 гг.	Модернизация и аттестация соподчиненных ВЭТ
2019 -2020 гг.	Проведение НИР по разработке и созданию современной установки для измерения радионуклидов с низкими энергиями фотонного излучения ^{55}Fe , ^{168}Cd и др. методом пропорционального счетчика высокого давления
2018–2019 гг.	Замена набора радионуклидных источников альфа-, бета-излучений из состава ГЭТ 6 и вторичных эталонов
2020-2021 г.	Проведение НИР по разработке ионизационной камеры для измерений активности радионуклидов в капсулированных источниках



Спасибо за внимание!



Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д. И. Менделеева