

СОГЛАСОВАНО



Директор УП «АТОМТЕХ»

В.А.Кожемякин

2019

УТВЕРЖДАЮ



Директор БелГИМ

В.Л.Гуревич

2019

Система обеспечения единства измерений Республики Беларусь

СПЕКТРОМЕТРЫ МКС-АТ6102

Методика поверки

МРБ МП.1892-2019

(Взамен МРБ МП.1892 -2009)

РАЗРАБОТЧИК

Главный метролог – начальник отдела
радиационной метрологии
УП «АТОМТЕХ»

В.Д.Гузов
« 13 » 08 2019

Начальник лаборатории программно-
вычислительных и микропроцессорных
средств УП «АТОМТЕХ»

С.Н. Тищенко
« 12 » 08 2019

Зам. начальника сектора радиометрии
и спектрометрии УП «АТОМТЕХ»

А.Н. Толкачёв
« 14 » августа 2019

Верно

Директор

В.А.Кожемякин

06.05.2024



Шкв. N 15136

Содержание

1	Нормативные ссылки	3
2	Операции поверки	4
3	Средства поверки	5
4	Требования к квалификации поверителей	6
5	Требования безопасности	6
6	Условия поверки и подготовка к ней.....	6
7	Проведение поверки	7
8	Оформление результатов поверки	22
Приложение А (обязательное) Обязательные метрологические требования (для спектрометров с датой выпуска после 01.08.2019).....		23
Приложение Б (рекомендуемое) Форма протокола поверки		24
Библиография		30

Настоящая методика поверки (далее – МП) распространяется на спектрометры МКС-АТ6102, МКС-АТ6102А, МКС-АТ6102В, изготовленные по ТУ ВУ 100865348.019-2009, производства УП «АТОМТЕХ» (далее – спектрометры) и устанавливает методы и средства их первичной и последующих поверок.

Настоящая МП разработана в соответствии с [1], [2], СТБ 8065, СТБ 8067, ГОСТ 8.040, ГОСТ 8.041, ГОСТ 8.355.

1 Нормативные ссылки

ТКП 181-2009 (02230) Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей;

СТБ 8065-2016 Система обеспечения единства измерений Республики Беларусь. Дозиметры и измерители мощности дозы фотонного излучения. Методика поверки;

СТБ 8067-2017 Система обеспечения единства измерений Республики Беларусь. Спектрометры энергии гамма-излучений. Методика поверки;

ГОСТ 8.031-82 Государственная система обеспечения единства измерений. Государственный первичный эталон и государственная поверочная схема для средств измерений потока и плотности потока нейтронов;

ГОСТ 8.033-96 Государственная система обеспечения единства измерений. Государственная поверочная схема для средств измерений активности радионуклидов, потока и плотности потока альфа-, бета-частиц и фотонов радионуклидных источников;

ГОСТ 8.040-84 Государственная система обеспечения единства измерений. Радиометры загрязненности поверхностей бета-активными веществами. Методика поверки;

ГОСТ 8.041-84 Государственная система обеспечения единства измерений. Радиометры загрязненности поверхностей альфа-активными веществами. Методика поверки;

ГОСТ 8.087-2000 Государственная система обеспечения единства измерений. Установки дозиметрические рентгеновского и гамма-излучений эталонные. Методика поверки по мощности экспозиционной дозы и мощности кермы в воздухе;

ГОСТ 8.355-79 Государственная система обеспечения единства измерений. Радиометры нейтронов. Методы и средства поверки;

ГОСТ 12.2.007.0-75 Система стандартов безопасности труда. Изделия электротехнические. Общие требования безопасности;

ГОСТ 427-75 Линейки измерительные металлические. Технические условия;

ГОСТ ИЕС 61010-1-2014 Безопасность электрических контрольно-измерительных приборов и лабораторного оборудования. Часть 1. Общие требования.

Примечание – При использовании настоящей МП целесообразно проверить действие ссылочных документов на официальном сайте Национального фонда технических нормативных правовых актов в глобальной компьютерной сети Интернет.

Если ссылочные документы заменены (изменены), то при использовании настоящей МП следует руководствоваться действующими взамен документами. Если ссылочные документы отменены без замены, то положение, в котором дана ссылка на них, применяется в части, не затрагивающей эту ссылку.

2 Операции поверки

2.1 При проведении поверки выполняют операции, указанные в таблице 2.1.

Таблица 2.1

Наименование операции	Номер пункта МП	Проведение операции при	
		первичной поверке	последующей поверке
1 Внешний осмотр	7.1	Да	Да
2 Опробование	7.2	Да	Да
3 Определение метрологических характеристик	7.3	—	—
3.1 Определение основной относительной погрешности характеристики преобразования и проверка диапазона энергий регистрируемого гамма-излучения	7.3.1	Да	Да
3.2 Определение относительного энергетического разрешения для энергии гамма-излучения 662 кэВ радионуклида ^{137}Cs	7.3.2	Да	Да
3.3 Определение эффективности регистрации в пике полного поглощения для энергии гамма-излучения 662 кэВ радионуклида ^{137}Cs источника типа ОСГИ	7.3.3	Да	Да
3.4 Определение основной относительной погрешности при измерении мощности амбиентного эквивалента дозы гамма-излучения	7.3.4	Да	Да
3.5 Определение основной относительной погрешности при измерении плотности потока альфа-частиц радионуклида ^{239}Pu спектрометров с БДПА-01	7.3.5	Да	Да
3.6 Определение основной относительной погрешности при измерении плотности потока бета-частиц спектрометров с БДПБ-01	7.3.6	Да	Да
3.7 Определение скорости счета фоновых импульсов нейтронного излучения спектрометра МКС-АТ6102 при естественном нейтронном фоне	7.3.7	Да	Да
3.8 Определение чувствительности спектрометра МКС-АТ6102 к прямому нейтронному излучению плутоний-бериллиевого источника	7.3.8	Да	Да
3.9 Определение основной относительной погрешности при измерении мощности амбиентного эквивалента дозы нейтронного излучения спектрометров с БДКН-03	7.3.9	Да	Да
4 Оформление результатов поверки	8	Да	Да
Примечание – При получении отрицательного результата при проведении той или иной операции дальнейшая поверка должна быть прекращена.			

3 Средства поверки

3.1 При проведении поверки должны применяться средства поверки, указанные в таблице 3.1.

Таблица 3.1

Номер пункта МП	Наименование и тип (условное обозначение) эталонов и вспомогательных средств поверки, их метрологические и основные технические характеристики
6.1	Термогигрометр ИВА-6Н-Д, диапазон измерений температуры от минус 20 °С до плюс 60 °С, пределы допускаемой абсолютной погрешности $\pm 0,3$ °С; диапазон измерений относительной влажности воздуха от 0 % до 98 %, пределы допускаемой основной абсолютной погрешности ± 2 %; диапазон измерений атмосферного давления от 700 до 1100 гПа, пределы допускаемой абсолютной погрешности $\pm 2,5$ гПа
6.1	Дозиметр ДКГ-АТ2140, диапазон измерений мощности амбиентного эквивалента дозы от 0,1 мкЗв/ч до 10 мЗв/ч, пределы допускаемой основной относительной погрешности ± 15 %
7.2.4, 7.3.3, 7.3.5, 7.3.6	Секундомер электронный С-01, диапазон измерений от 0 до 9 ч 59 мин 59,99 с, пределы допускаемой основной абсолютной погрешности измерения $\pm (9,6 \cdot 10^{-6} \cdot T_x + 0,01)$, где T_x – значение измеренного интервала времени, с
7.3.1 – 7.3.4	Эталонные спектрометрические источники гамма-излучения типа ОСГИ, активность от 3 до 180 кБк, погрешность не более ± 6 %
7.3.4	Установка дозиметрическая гамма-излучения эталонная по ГОСТ 8.087 с набором источников ^{137}Cs , диапазон измерений мощности амбиентного эквивалента дозы от 0,07 мкЗв/ч до 70,0 мЗв/ч, доверительные границы относительной погрешности ($P=0,95$) ± 7 %
7.3.5	Источники альфа-излучения эталонные 2-го разряда по ГОСТ 8.033 с радионуклидом ^{239}Pu типов 4П9 и 5П9, активность от 25 до $4 \cdot 10^5$ Бк, плотность потока от 0,5 до 10^5 мин ⁻¹ ·см ⁻² , погрешность не более ± 6 %
7.3.6	Источники бета-излучения эталонные 2-го разряда по ГОСТ 8.033 с радионуклидом $^{90}\text{Sr}+^{90}\text{Y}$ типов 4СО и 5СО, активность от 40 до $2 \cdot 10^6$ Бк, плотность потока от 3 до $5 \cdot 10^5$ мин ⁻¹ ·см ⁻² , погрешность не более ± 6 %
7.3.8	Эталонные плутоний-бериллиевые источники быстрых нейтронов по ГОСТ 8.031 типа ИБН, применяемые в открытой геометрии или в установках типов УКПН-1, УКПН-1М, УПН-АТ140, поток быстрых нейтронов от источника в телесный угол 4π ср от $3 \cdot 10^5$ до $5 \cdot 10^7$ нейтр.·с ⁻¹ , плотность потока нейтронов на расстоянии 1 м от источника 2,5 – 1000 нейтр.·с ⁻¹ ·см ⁻² , погрешность не более ± 8 %
7.3.9	Эталонные по ГОСТ 8.031 поверочные установки типов УКПН-1, УКПН-1М, УПН-АТ140 с комплектом плутоний-бериллиевых источников быстрых нейтронов типа ИБН при поверке в коллимированном пучке или установки на основе градуировочной линейки с набором аналогичных источников при поверке в открытой геометрии, диапазон измерений мощности амбиентного эквивалента дозы нейтронного излучения от 0,5 мкЗв/ч до 10 мЗв/ч, погрешность не более ± 8 %

Номер пункта МП	Наименование и тип (условное обозначение) эталонов и вспомогательных средств поверки, их метрологические и основные технические характеристики
7.3.4, 7.3.9	Линейка измерительная металлическая по ГОСТ 427, диапазон измерений от 0 до 500 мм, погрешность не более 0,5 мм
Примечания 1 Допускается применение других средств поверки, обеспечивающих определение метрологических характеристик поверяемых спектрометров с требуемой точностью. 2 Все средства поверки должны иметь действующие знаки поверки (калибровки) и (или) свидетельства о поверке (калибровке).	

4 Требования к квалификации поверителей

4.1 К проведению измерений при поверке и (или) обработке результатов измерений допускают лиц, имеющих необходимую квалификацию в области обеспечения единства измерений.

5 Требования безопасности

5.1 При проведении поверки необходимо соблюдать требования [3] и [4], а также:

- требования безопасности при эксплуатации электроустановок в соответствии с ТКП 181;
- требования безопасности, установленные ГОСТ IEC 61010-1 для оборудования класса защиты III по ГОСТ 12.2.007.0;
- требования инструкций по охране труда и по радиационной безопасности, действующих в организации, проводившей поверку;
- требования безопасности, изложенные в эксплуатационной документации на спектрометры и применяемые средства поверки.

5.2 Процесс проведения поверки должен быть отнесен к работам во вредных условиях труда.

6 Условия поверки и подготовка к ней

6.1 При проведении поверки должны быть соблюдены следующие условия:

- температура окружающего воздуха от 15 °С до 25 °С;
- относительная влажность воздуха от 30 % до 80 %;
- атмосферное давление от 84,0 до 106,7 кПа;
- фон гамма-излучения не более 0,20 мкЗв/ч.

6.2 При подготовке к поверке необходимо:

- ознакомиться с руководством по эксплуатации (далее – РЭ) на спектрометр;
- выдержать спектрометр в упаковке в условиях по 6.1 в течение 2 ч;
- извлечь спектрометр и его составные части из упаковки и расположить их на рабочем месте;
- подготовить средства поверки в соответствии с их эксплуатационной документацией.

6.3 Поверка спектрометров должна осуществляться при полностью заряженных встроенных аккумуляторах.

7 Проведение поверки

7.1 Внешний осмотр

7.1.1 При проведении внешнего осмотра должно быть установлено:

- соответствие комплектности поверяемого спектрометра требованиям раздела 1 РЭ в объеме, необходимом для поверки;
- наличие четких маркировочных надписей на корпусе спектрометра и блоках детектирования (далее – БД) спектрометра;
- отсутствие загрязнений, механических повреждений, влияющих на работу спектрометра.

По результатам внешнего осмотра делают отметку в протоколе поверки (приложение Б).

7.2 Опробование

7.2.1 При проведении опробования необходимо проверить:

- функционирование спектрометра;
- идентификацию программного обеспечения (далее – ПО);
- светозащищенность блока детектирования альфа-излучения БДПА-01 (далее – БДПА-01) и блока детектирования бета-излучения БДПБ-01 (далее – БДПБ-01).

7.2.2 Проверку функционирования проводят в режиме выполнения самоконтроля основных узлов спектрометров в соответствии с разделом 3 РЭ.

7.2.3 Идентификацию встроенного ПО проводят проверкой идентификационных данных и подтверждением защиты встроенного ПО от непреднамеренных и преднамеренных изменений для спектрометров с датой выпуска после 01.06.2014. Проверка соответствия встроенного ПО осуществляется путем контроля отсутствия сообщений тестов самоконтроля об ошибках и проверкой целостности пломб на спектрометре и БД.

Для идентификации встроенного ПО:

- а) включают спектрометр и ожидают окончания инициализации;
- б) переходят в режим «ОПЦИИ»;
- в) сравнивают идентификационные данные со значениями, приведенными в разделе «Свидетельство о приемке» РЭ.

Идентификационные данные встроенного ПО для спектрометров с датой выпуска до 01.08.2019 приведены в таблице 7.1, для спектрометров с датой выпуска после 01.08.2019 приведены в таблице 7.2.

Таблица 7.1

Модификация спектрометра	Идентификационное наименование ПО	Номер версии (идентификационный номер) ПО
МКС-АТ6102	АТ6102М	1.bXY*
МКС-АТ6102А	АТ6102МА	1.bAY*
МКС-АТ6102В	АТ6102МВ	1.bBY*
* b – составная часть номера версии ПО (метрологически незначимая изменяемая часть), b = [0...99]; символы X, A, B – модификация спектрометра; Y – версия библиотеки радионуклидов (N, S).		
Примечание – Идентификационные данные заносятся в раздел «Свидетельство о приемке» РЭ и в протокол поверки.		

Таблица 7.2

Модификация спектрометра	Идентификационное наименование ПО	Номер версии (идентификационный номер) ПО
МКС-АТ6102	АТ6102ХN АТ6102ХS	1.bXY*
МКС-АТ6102А	АТ6102АН АТ6102АС	1.bAY*
МКС-АТ6102В	АТ6102ВN АТ6102ВS	1.bBY*
* b – составная часть номера версии ПО (метрологически незначимая изменяемая часть), b=[0...99]; символы X, A, B – модификация спектрометра; Y – версия библиотеки радионуклидов (N, S).		
Примечание – Идентификационные данные заносятся в раздел «Свидетельство о приемке» РЭ и в протокол поверки.		

7.2.4 Проверку светозащищенности БДПА-01, БДПБ-01 проводят в следующей последовательности:

- подключают БДПА-01 (БДПБ-01) к спектрометру;
- измеряют скорость счета фоновых импульсов с установленной на БДПА-01 защитной крышкой за время не менее 100 с и с установленной на БДПБ-01 крышкой-фильтром за время не менее 1000 с в соответствии с разделом 3 РЭ;
- снимают защитную крышку с БДПА-01 и крышку-фильтр с БДПБ-01;
- устанавливают на расстоянии 40–50 см от рабочей поверхности БДПА-01 (БДПБ-01) лампу накаливания мощностью 60 Вт и включают ее;
- измеряют скорость счета фоновых импульсов за время не менее 1000 с при дополнительном освещении.

Светозащищенность БДПА-01 и БДПБ-01 считают удовлетворительной, если скорость счета фоновых импульсов при дополнительном освещении не превышает $0,01 \text{ с}^{-1}$ для БДПА-01 и 10 с^{-1} для БДПБ-01.

Результаты опробования считают положительными, если после выполнения самоконтроля спектрометр перешел в режим стабилизации, отсутствуют сообщения об ошибках, идентификационные данные ПО соответствуют значениям, приведенным в разделе «Свидетельство о приемке» РЭ, показания спектрометра при дополнительном освещении не превышают допустимых значений. По результатам опробования делают отметку в протоколе поверки (Приложение Б).

7.3 Определение метрологических характеристик

7.3.1 Определение основной относительной погрешности характеристики преобразования и проверка диапазона энергий регистрируемого гамма-излучения

7.3.1.1 Определение основной относительной погрешности характеристики преобразования и проверку диапазона энергий регистрируемого гамма-излучения проводят в следующей последовательности:

- включают спектрометр, выдерживают спектрометр во включенном состоянии в течение времени установления рабочего режима, равного 1 мин;

б) проводят стабилизацию спектрометра, переводят спектрометр в режим набора спектра в соответствии с разделом 3 РЭ;

в) устанавливают поочередно эталонные спектрометрические источники гамма-излучения типа ОСГИ с радионуклидами, указанными в таблице 7.3, перед поверхностью корпуса спектрометра симметрично относительно метки (точка красного цвета), обозначающей проекцию геометрического центра детектора NaI(Tl) (на передней поверхности для МКС-АТ6102, МКС-АТ6102А и на нижней поверхности для МКС-АТ6102В);

Таблица 7.3

Номер точки поверки i	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Радионуклид	^{137}Cs	^{137}Cs	^{241}Am	^{57}Co	^{139}Ce	^{113}Sn	^{54}Mn	^{22}Na	^{228}Th
Энергия излучения E_{0i} , кэВ	32	662	60	122	166	392	835	1275	2614

г) иницируют измерение аппаратного спектра, представляющего собой зависимость числа зарегистрированных импульсов (ось ординат) от номера канала анализатора (ось абсцисс). Номеру канала соответствует значение энергии регистрируемого гамма-излучения (характеристика преобразования, заданная в табличном виде). На экране спектрометра отображается подвижный маркер (вертикальная черта). В строке маркера отображается позиция маркера в каналах «ch», значение энергии гамма-излучения «keV» и количество импульсов в канале «cnt»;

д) считывают индицируемое на экране значение скорости счета импульсов от источника гамма-излучения, которое должно находиться в пределах от 250 до 10000 имп·с⁻¹. Если это требование не выполняется, то изменяют расстояние между источником и спектрометром и повторяют операции согласно 7.3.1.1 (г, д);

е) измеряют спектр от источника гамма-излучения до достижения значения интегрального числа импульсов в пике полного поглощения (ППП), соответствующем энергии гамма-излучения 662 кэВ, не менее 10^4 . Интегральное число импульсов в ППП определяется согласно разделу 3 РЭ;

ж) определяют положение центра ППП n_i и соответствующее ему значение энергии гамма-излучения E_i , кэВ, согласно разделу 3 РЭ;

и) определяют основную относительную погрешность характеристики преобразования (ПХП) спектрометра, %, по формуле

$$ПХП = \frac{\Delta E_{\max}}{E_{\max}} \cdot 100, \quad (1)$$

где $\Delta E_{\max}$ – максимальное значение разностей энергий, рассчитанных по формуле

$$\Delta E_i = |E_{0i} - E_i|, \text{ кэВ};$$

$E_{\max}$ – значение верхней границы диапазона энергий регистрируемого гамма-излучения, равное 3000 кэВ.

Примечание – Для спектрометров с датой выпуска до 01.06.2014 определение ПХП проводится по формуле (1) для двух диапазонов энергий регистрируемого гамма-излучения: от 20 до 1500 кэВ и от 40 до 3000 кэВ в соответствии с таблицей 7.4, при этом в диапазоне от 20 до 1500 кэВ $E_{\max} = 1500$ кэВ.

Таблица 7.4

Номер точки поверки i	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Радионуклид	^{137}Cs	^{137}Cs	^{241}Am	^{57}Co	^{139}Ce	^{113}Sn	^{54}Mn	^{22}Na	^{228}Th
Энергия излучения E_{0i} , кэВ	32 ¹⁾	662	60	122	166	392	835	1275	2614 ²⁾
¹⁾ Используют только при поверке в диапазоне энергий регистрируемого гамма-излучения от 20 до 1500 кэВ. ²⁾ Используют только при поверке в диапазоне энергий регистрируемого гамма-излучения от 40 до 3000 кэВ.									

Определение ПХП одновременно является проверкой диапазона энергий регистрируемого гамма-излучения.

Результаты поверки считают удовлетворительными, если основная относительная погрешность характеристики преобразования спектрометра не превышает $\pm 1\%$.

Результаты измерений заносят в протокол поверки (таблицы Б.3, Б.4, приложение Б).

7.3.2 Определение относительного энергетического разрешения для энергии гамма-излучения 662 кэВ радионуклида ^{137}Cs

7.3.2.1 Определение относительного энергетического разрешения для энергии гамма-излучения 662 кэВ радионуклида ^{137}Cs проводят в следующей последовательности:

а) выполняют операции согласно 7.3.1.1 (а, б);

б) размещают и фиксируют вплотную к поверхности корпуса спектрометра (на передней поверхности для МКС-АТ6102, МКС-АТ6102А и на нижней поверхности для МКС-АТ6102В) эталонный источник гамма-излучения с радионуклидом ^{137}Cs типа ОСГИ. При этом центр активной части источника должен находиться симметрично относительно метки (точка красного цвета), обозначающей проекцию геометрического центра детектора NaI(Tl);

в) измеряют спектр от источника гамма-излучения до достижения интегрального числа импульсов в ППП с энергией 662 кэВ не менее $2 \cdot 10^4$, при этом входная статистическая нагрузка должна быть не более $2000 \text{ имп} \cdot \text{с}^{-1}$. Интегральное число импульсов в ППП определяется согласно разделу 3 РЭ;

г) определяют относительное энергетическое разрешение для энергии гамма-излучения 662 кэВ радионуклида ^{137}Cs R , %, согласно разделу 3 РЭ.

Результаты поверки считают удовлетворительными, если относительное энергетическое разрешение для энергии гамма-излучения 662 кэВ радионуклида ^{137}Cs не превышает:

- 8,0 % для МКС-АТ6102, МКС-АТ6102А (приложение А);
- 8,5 % для МКС-АТ6102В (приложение А);
- 9,0 % для спектрометров с датой выпуска до 01.06.2014.

Результаты измерений заносят в протокол поверки (таблица Б.5, приложение Б).

7.3.3 Определение эффективности регистрации в пике полного поглощения для энергии гамма-излучения 662 кэВ радионуклида ^{137}Cs источника типа ОСГИ

7.3.3.1 Определение эффективности регистрации в пике полного поглощения для энергии гамма-излучения 662 кэВ радионуклида ^{137}Cs источника типа ОСГИ проводят в следующей последовательности:

а) выполняют операции по 7.3.1.1 (а, б);

- б) задают время набора спектра, равное 200 с, в соответствии с разделом 3 РЭ;
- в) выполняют операции по 7.3.2.1 (б);
- г) измеряют спектр от источника гамма-излучения. При этом входная статистическая загрузка должна быть не более $2000 \text{ имп} \cdot \text{с}^{-1}$. Интегральное число импульсов в ППП определяется согласно разделу 3 РЭ. По истечении заданного времени набора измерение спектра будет автоматически остановлено;
- д) определяют положение центра ППП n , соответствующее ему значение энергии гамма-излучения E , кэВ, и относительное энергетическое разрешение R , %, в соответствии с разделом 3 РЭ;
- е) рассчитывают левую $E_л$, кэВ, и правую E_n , кэВ, границы ППП по формулам

$$E_л = E - 0,015E \cdot R, \quad (2)$$

$$E_n = E + 0,015E \cdot R, \quad (3)$$

ж) выделяют энергетическое окно, устанавливая подвижные маркеры в позиции, примерно соответствующие значениям энергий $E_л$ и E_n ;

и) считывают с экрана спектрометра измеренную скорость счета импульсов N , $\text{имп} \cdot \text{с}^{-1}$, в выделенном энергетическом окне согласно разделу 3 РЭ;

к) удаляют источник гамма-излучения с корпуса спектрометра и измеряют фоновый спектр в течение 200 с, после чего выполняют операцию по 7.3.3.1 (ж) и считывают с экрана спектрометра измеренную скорость счета фоновых импульсов N_ϕ , $\text{имп} \cdot \text{с}^{-1}$, в выделенном энергетическом окне;

л) определяют эффективность регистрации в ППП ε , %, по формуле

$$\varepsilon = \frac{N - N_\phi}{A_0 \cdot \eta \cdot e^{\frac{0,693 \cdot t}{T_{1/2}}}} \cdot 100, \quad (4)$$

где A_0 – активность источника гамма-излучения с радионуклидом ^{137}Cs на дату его поверки (из свидетельства о поверке), Бк;

η – квантовый выход для энергии гамма-излучения 662 кэВ радионуклида ^{137}Cs , равный 0,851 фотон/распад;

t – время, прошедшее от даты поверки источника гамма-излучения с радионуклидом ^{137}Cs до даты измерения, сут;

$T_{1/2}$ – период полураспада радионуклида ^{137}Cs , равный 10976 сут.

Результаты поверки считают удовлетворительными, если эффективность регистрации в ППП для энергии гамма-излучения 662 кэВ радионуклида ^{137}Cs источника типа ОСГИ не менее:

- 1,68 % – для МКС-АТ6102, МКС-АТ6102А с датой выпуска после 01.08.2019 (приложение А);
- 2,16 % – для МКС-АТ6102В с датой выпуска после 01.08.2019 (приложение А);
- $(2,10 \pm 0,42)$ % – для МКС-АТ6102, МКС-АТ6102А с датой выпуска до 01.08.2019;
- $(2,70 \pm 0,54)$ % – для МКС-АТ6102В с датой выпуска до 01.08.2019;
- $(2,42 \pm 0,48)$ % – для МКС-АТ6102, МКС-АТ6102А с датой выпуска до 01.06.2014.

Результаты измерений заносят в протокол поверки (таблица Б.6, приложение Б).

7.3.4 Определение основной относительной погрешности при измерении мощности амбиентного эквивалента дозы гамма-излучения

7.3.4.1 Определение основной относительной погрешности при измерении мощности амбиентного эквивалента дозы (далее – мощность дозы) гамма-излучения спектрометров с детектором NaI(Tl) проводят на эталонной дозиметрической установке гамма-излучения с набором источников ^{137}Cs в точках поверки в соответствии с таблицей 7.5 для МКС-АТ6102, МКС-АТ6102А и таблицей 7.6 для МКС-АТ6102В в следующей последовательности:

Таблица 7.5

Номер точки поверки i	Мощность дозы $\dot{H}_{0i}^*(10)$, мкЗв/ч	Измерение мощности дозы $\dot{H}_i^*(10)$	
		Количество измерений	Статистическая погрешность, %, не более
1	0,07	3	5
2	0,70	3	3
3	7,0	3	3
4	70,0	3	3
5	240	3	3

Таблица 7.6

Номер точки поверки i	Мощность дозы $\dot{H}_{0i}^*(10)$, мкЗв/ч	Измерение мощности дозы $\dot{H}_i^*(10)$	
		Количество измерений	Статистическая погрешность, %, не более
1	0,07	3	5
2	0,70	3	3
3	7,0	3	3
4	70,0	3	3
5	130	3	3

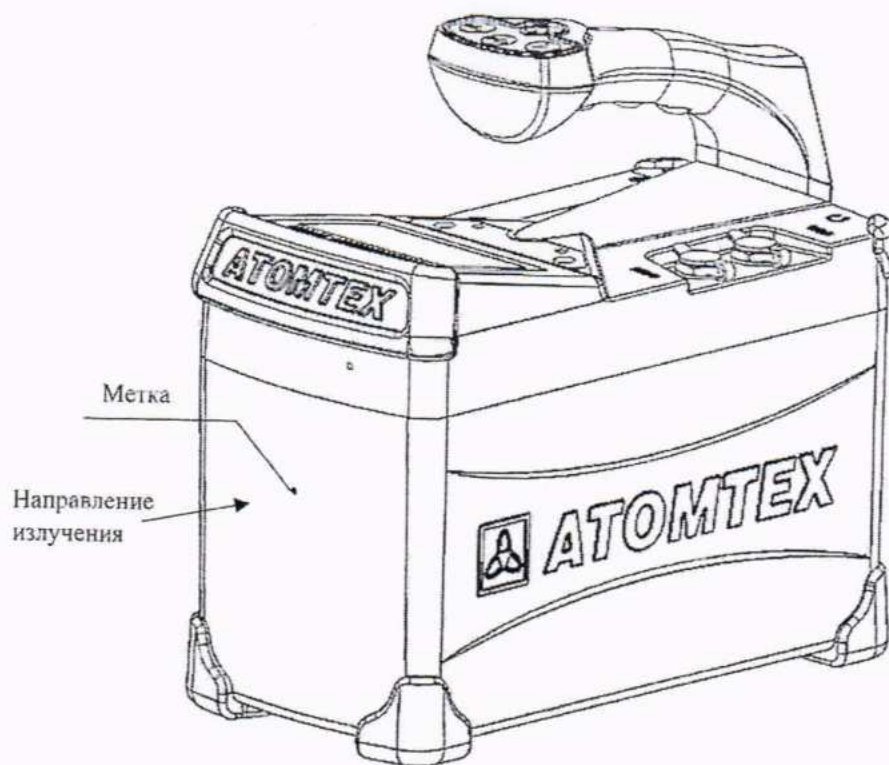
а) устанавливают спектрометр на эталонную дозиметрическую установку таким образом, чтобы центральная ось пучка излучения проходила через метку (точка красного цвета), расположенную на поверхности корпуса спектрометра (на передней поверхности для МКС-АТ6102, МКС-АТ6102А (см. рисунок 7.1 (а)) и на нижней поверхности для МКС-АТ6102В (см. рисунок 7.1 (б))), обозначающую проекцию геометрического центра детектора NaI(Tl) и обращенную к источнику излучения;

б) устанавливают спектрометр в i -ю точку поверки на расстоянии r_i , мм, от центра источника гамма-излучения до метки (точка красного цвета) на поверхности корпуса спектрометра, при этом:

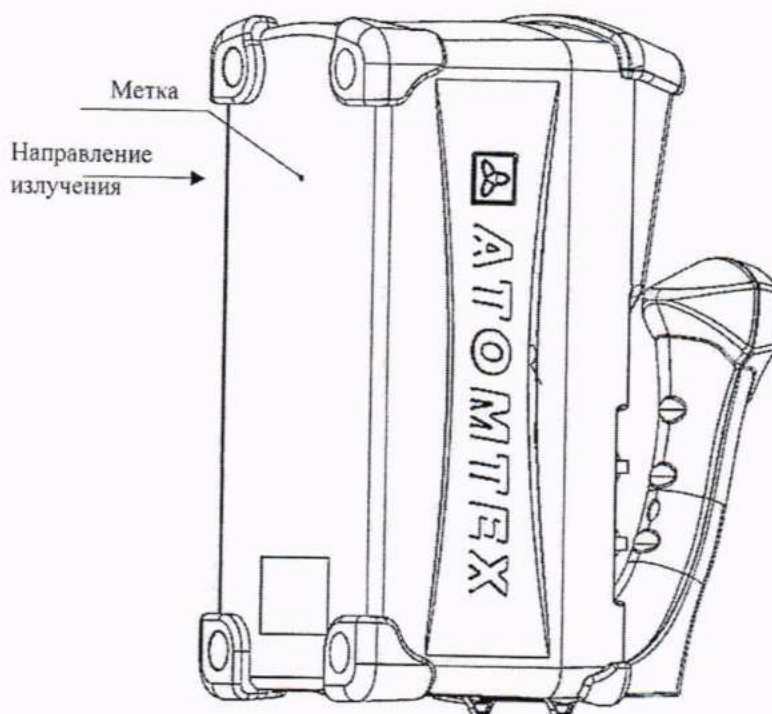
$$r_i = r_{0i} - 31 \text{ мм} \quad \text{— для МКС-АТ6102, МКС-АТ6102А;}$$

$$r_i = r_{0i} - 37 \text{ мм} \quad \text{— для МКС-АТ6102В,}$$

где r_{0i} – расстояние, соответствующее действительному значению мощности дозы $\dot{H}_{0i}^*(10)$ в i -й точке поверки (из свидетельства о поверке), мм;



а) МКС-АТ6102, МКС-АТ6102А



б) МКС-АТ6102В

Рисунок 7.1

в) включают спектрометр, проводят стабилизацию и переводят спектрометр в режим измерения мощности дозы детектором NaI(Tl) согласно разделу 3 РЭ;

Примечание – Определение основной относительной погрешности при измерении мощности дозы для спектрометров с датой выпуска до 01.06.2014 проводят в «Экспертном режиме» в соответствии с разделом 3 РЭ;

г) измеряют мощность дозы фоновое гамма-излучения (фон) $\dot{H}_{\phi}^*(10)$ в i -й точке поверки со статистической погрешностью не более 5 % согласно разделу 3 РЭ;

д) подвергают спектрометр воздействию излучения с мощностью дозы гамма-излучения $\dot{H}_{0i}^*(10)$ и измеряют мощность дозы гамма-излучения $\dot{H}_i^*(10)$ в i -й точке поверки в соответствии с разделом 3 РЭ. Определяют среднее арифметическое измеренных значений $\bar{\dot{H}}_i^*(10)$;

е) рассчитывают для i -й точки поверки доверительные границы основной относительной погрешности Δ_i (без учета знака), %, при доверительной вероятности 0,95 по формуле

$$\Delta_i = 1,1 \sqrt{\theta_{0i}^2 + \theta_{\text{при}}^2}, \quad (5)$$

где θ_{0i} – относительная погрешность эталонной дозиметрической установки гамма-излучения в i -й точке поверки (из свидетельства о поверке), %;

$\theta_{\text{при}}$ – относительная погрешность измерения мощности дозы гамма-излучения в i -й точке поверки, %, вычисляемая по формуле

$$\theta_{\text{при}} = \frac{\bar{\dot{H}}_i^*(10) - \dot{H}_{\phi}^*(10) - \dot{H}_{0i}^*(10)}{\dot{H}_{0i}^*(10)} \cdot 100. \quad (6)$$

Примечание – В точках поверки 4, 5 значением фона можно пренебречь.

Результаты поверки считают удовлетворительными, если доверительные границы основной относительной погрешности при измерении мощности дозы гамма-излучения спектрометров с детектором NaI(Tl) для всех точек поверки находятся в пределах ± 20 %.

Результаты измерений заносят в протокол поверки (таблицы Б.7 и Б.8, приложение Б).

7.3.4.2 Определение основной относительной погрешности при измерении мощности дозы гамма-излучения спектрометров с детектором на основе счетчика Гейгера-Мюллера проводят на эталонной дозиметрической установке гамма-излучения с набором источников ^{137}Cs в точках поверки в соответствии с таблицей 7.7 в следующей последовательности:

Таблица 7.7

Номер точки поверки i	Мощность дозы $\dot{H}_{0i}^*(10)$, мЗв/ч	Измерение мощности дозы $\dot{H}_i^*(10)$	
		Количество измерений	Статистическая погрешность, %, не более
1	0,07	3	5
2	0,70	3	3
3	7,0	3	3
4	70,0	3	3

а) устанавливают спектрометр на эталонную дозиметрическую установку таким образом, чтобы центральная ось пучка излучения проходила через метку (точка черного цвета) (см. рисунок 7.2), расположенную на передней поверхности корпуса спектрометра,

обозначающую проекцию геометрического центра счетчика Гейгера-Мюллера и обращенную к источнику излучения;

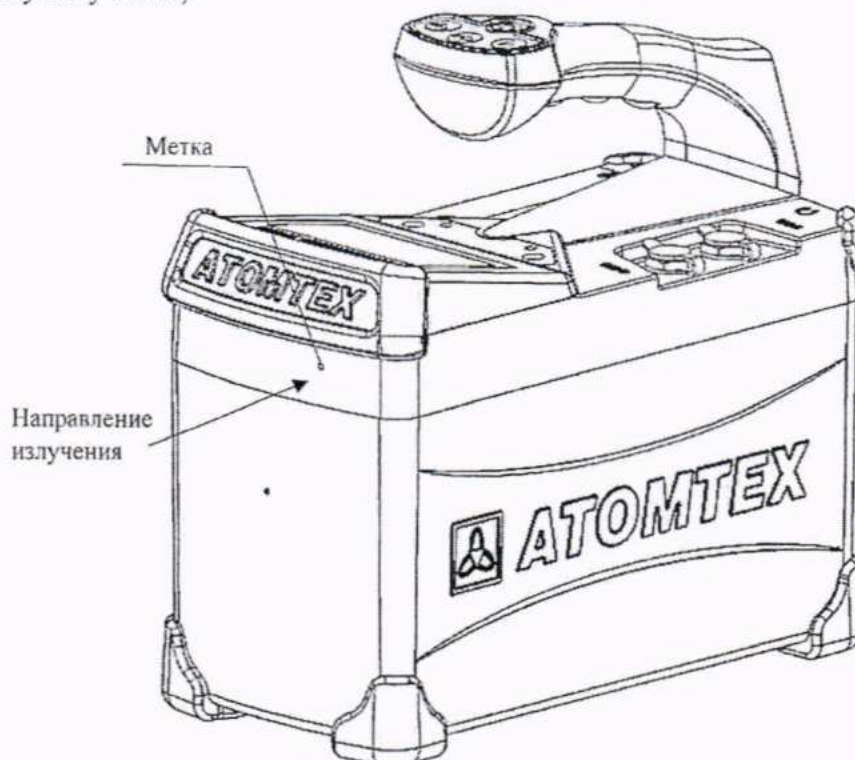


Рисунок 7.2

б) устанавливают спектрометр в i -ю точку поверки на расстоянии r_i , мм, от центра источника гамма-излучения до метки (точка черного цвета) на поверхности корпуса спектрометра, при этом $r_i = r_{0i} - 25$ мм, где r_{0i} – расстояние, соответствующее действительному значению мощности дозы гамма-излучения $\dot{H}_{0i}^*(10)$ в i -й точке поверки (из свидетельства о поверке), мм;

в) включают и переводят спектрометр в режим измерения мощности дозы детектором на основе счетчика Гейгера-Мюллера согласно разделу 3 РЭ;

Примечание – Определение основной относительной погрешности при измерении мощности дозы для спектрометров с датой выпуска до 01.06.2014 проводят в «Экспертном режиме» в соответствии с разделом 3 РЭ;

г) подвергают спектрометр воздействию излучения с мощностью дозы гамма-излучения $\dot{H}_{0i}^*(10)$ и измеряют мощность дозы гамма-излучения $\dot{H}_i^*(10)$ в i -й точке поверки согласно разделу 3 РЭ. Определяют среднее арифметическое измеренных значений $\bar{\dot{H}}_i^*(10)$;

д) рассчитывают для i -й точки поверки доверительные границы основной относительной погрешности Δ_i (без учета знака), %, при доверительной вероятности 0,95 по формуле (5).

Примечание – Значение фона $\dot{H}_{фi}^*(10)$ при расчете по формуле (6) принимают равным нулю.

Результаты поверки считают удовлетворительными, если доверительные границы основной относительной погрешности при измерении мощности дозы гамма-излучения спектрометров с детектором на основе счетчика Гейгера-Мюллера для всех точек поверки находятся в пределах ± 20 %.

Результаты измерений заносят в протокол поверки (таблица Б.9, приложение Б).

7.3.5 Определение основной относительной погрешности при измерении плотности потока альфа-частиц радионуклида ^{239}Pu спектрометров с БДПА-01

7.3.5.1 Определение основной относительной погрешности при измерении плотности потока альфа-частиц радионуклида ^{239}Pu спектрометров с БДПА-01 проводят с использованием эталонных источников альфа-излучения ^{239}Pu типов 4П9, 5П9 в точках поверки в соответствии с таблицей 7.8 в следующей последовательности:

Таблица 7.8

Номер точки поверки i	Плотность потока альфа-частиц φ_{0i} , мин $^{-1}\cdot\text{см}^{-2}$	Измерение плотности потока альфа-частиц φ_i	
		Количество измерений	Статистическая погрешность, %, не более
1	$10 - 10^2$	3	5
2	$10^2 - 10^3$	3	3
3	$10^3 - 10^4$	3	3
4	$10^4 - 10^5$	3	3

а) подключают БДПА-01 к спектрометру;

б) включают спектрометр, переводят в режим измерения плотности потока альфа-частиц согласно разделу 3 РЭ;

в) измеряют фоновое значение плотности потока (фон) с установленной на БДПА-01 защитной крышкой в течение не менее 100 с, сохраняют фон и переводят спектрометр в режим измерения с автоматическим вычитанием фона согласно разделу 3 РЭ;

г) снимают с БДПА-01 защитную крышку и устанавливают источник альфа-излучения на расстоянии $(1,5 \pm 0,2)$ мм от торцевой поверхности корпуса входного окна БДПА-01 до рабочей поверхности источника альфа-излучения.

Примечание – Указанное расстояние обеспечивается самоклеящимися ножками, установленными на торцевую поверхность БДПА-01;

д) измеряют плотность потока альфа-частиц φ_i , мин $^{-1}\cdot\text{см}^{-2}$, в i -й точке поверки. Определяют среднее арифметическое измеренных значений $\bar{\varphi}_i$;

е) рассчитывают для i -й точки поверки доверительные границы основной относительной погрешности Δ_i (без учета знака), %, при доверительной вероятности 0,95 по формуле

$$\Delta_i = 1,1\sqrt{\theta_{0i}^2 + \theta_{\text{при}}^2}, \quad (7)$$

где θ_{0i} – относительная погрешность эталонного источника альфа-излучения (из свидетельства о поверке), %;

$\theta_{\text{при}}$ – относительная погрешность измерения плотности потока альфа-частиц в i -й точке поверки, %, вычисляемая по формуле

$$\theta_{\text{при}} = \frac{\bar{\varphi}_i - \varphi_{0i}}{\varphi_{0i}} \cdot 100, \quad (8)$$

где $\bar{\varphi}_i$ – среднее арифметическое плотности потока альфа-частиц в i -й точке поверки, мин $^{-1}\cdot\text{см}^{-2}$;

φ_{0i} – плотность потока альфа-частиц с поверхности эталонного источника, $\text{мин}^{-1}\cdot\text{см}^{-2}$, вычисляемая по формуле

$$\varphi_{0i} = \frac{60 \cdot n_{0i}}{S_i}, \quad (9)$$

где n_{0i} – значение внешнего альфа-излучения источника ^{239}Pu в телесный угол 2π ср на дату поверки (из свидетельства о поверке), с^{-1} ;

S_i – площадь рабочей поверхности эталонного источника альфа-излучения типа 4П9 и 5П9, равная 40 см^2 и 100 см^2 соответственно.

Результаты поверки считают удовлетворительными, если доверительные границы основной относительной погрешности при измерении плотности потока альфа-частиц спектрометров с БДПА-01 для всех точек поверки находятся в пределах $\pm 20 \%$.

Результаты измерений заносят в протокол поверки (таблица Б.10, приложение Б).

7.3.6 Определение основной относительной погрешности при измерении плотности потока бета-частиц спектрометров с БДПБ-01

7.3.6.1 Определение основной относительной погрешности при измерении плотности потока бета-частиц спектрометров с БДПБ-01 проводят с использованием эталонных источников бета-излучения $^{90}\text{Sr}+^{90}\text{Y}$ типов 4СО, 5СО в точках поверки в соответствии с таблицей 7.9 в следующей последовательности:

Таблица 7.9

Номер точки поверки i	Плотность потока бета-частиц φ_{0i} , $\text{мин}^{-1}\cdot\text{см}^{-2}$	Измерение плотности потока бета-частиц φ_i	
		Количество измерений	Статистическая погрешность, %, не более
1	$10 - 10^2$	3	5
2	$10^2 - 10^3$	3	3
3	$10^3 - 10^4$	3	3
4	$10^4 - 10^5$	3	3
5	$10^5 - 5 \cdot 10^5$	3	3

а) подключают БДПБ-01 к спектрометру;

б) включают спектрометр, переводят в режим измерения плотности потока бета-частиц согласно разделу 3 РЭ;

в) измеряют фоновое значение плотности потока (фон) с установленной на БДПБ-01 крышкой-фильтром в течение не менее 1000 с, сохраняют фон, переводят спектрометр в режим измерения с автоматическим вычитанием фона согласно разделу 3 РЭ;

г) снимают с БДПБ-01 крышку-фильтр и устанавливают источник бета-излучения на расстоянии $(1,5 \pm 0,2) \text{ мм}$ от торцевой поверхности корпуса входного окна БДПБ-01 до рабочей поверхности источника бета-излучения.

Примечание – Указанное расстояние обеспечивается самоклеящимися ножками, установленными на торцевую поверхность БДПБ-01;

д) измеряют плотность потока бета-частиц φ_i , мин⁻¹·см⁻², в i -й точке поверки. Определяют среднее арифметическое измеренных значений $\bar{\varphi}_i$;

е) рассчитывают для i -й точки поверки доверительные границы основной относительной погрешности Δ_i (без учета знака), %, при доверительной вероятности 0,95 по формуле

$$\Delta_i = 1,1\sqrt{\theta_{0i}^2 + \theta_{\text{пр}i}^2}, \quad (10)$$

где θ_{0i} – относительная погрешность эталонного источника бета-излучения (из свидетельства о поверке), %;

$\theta_{\text{пр}i}$ – относительная погрешность измерения плотности потока бета-частиц в i -й точке поверки, %, вычисляемая по формуле

$$\theta_{\text{пр}i} = \frac{\bar{\varphi}_i - \varphi_{0i}}{\varphi_{0i}} \cdot 100, \quad (11)$$

где $\bar{\varphi}_i$ – среднее арифметическое плотности потока бета-частиц в i -й точке поверки, мин⁻¹·см⁻²;

φ_{0i} – плотность потока бета-частиц с поверхности эталонного источника бета-излучения, мин⁻¹·см⁻², вычисляемая по формуле

$$\varphi_{0i} = \frac{60 \cdot n_{0i} \cdot e^{\frac{0,693 \cdot t}{T_{1/2}}}}{S_i}, \quad (12)$$

где n_{0i} – значение внешнего бета-излучения источника $^{90}\text{Sr}+^{90}\text{Y}$ в телесный угол 2π ср на дату поверки (из свидетельства о поверке), с⁻¹;

S_i – площадь рабочей поверхности эталонного источника бета-излучения типа 4CO и 5CO, равная 40 см² и 100 см² соответственно;

t – время, прошедшее от даты поверки источника бета-излучения до даты измерения, сут;

$T_{1/2}$ – период полураспада радионуклида ^{90}Sr , равный 10523 сут.

Результаты поверки считают удовлетворительными, если доверительные границы основной относительной погрешности при измерении плотности потока бета-частиц спектрометров с БДПБ-01 для всех точек поверки находятся в пределах ± 20 %.

Результаты измерений заносят в протокол поверки (таблица Б.11, приложение Б).

7.3.7 Определение скорости счета фоновых импульсов нейтронного излучения спектрометра МКС-АТ6102 при естественном нейтронном фоне

7.3.7.1 Определение скорости счета фоновых импульсов нейтронного излучения спектрометра МКС-АТ6102 при естественном нейтронном фоне проводят в следующей последовательности:

а) включают спектрометр, переводят в режим измерения скорости счета импульсов нейтронного излучения согласно разделу 3 РЭ;

б) измеряют скорость счета фоновых импульсов нейтронного излучения N_0 , имп·с⁻¹, три раза по 20 мин согласно разделу 3 РЭ. Определяют среднее арифметическое измеренных значений $\bar{N}_0$.

Результаты поверки считают удовлетворительными, если значение скорости счета фоновых импульсов нейтронного излучения спектрометра МКС-АТ6102 $\bar{N}_0$ находится в диапазоне от 0,010 до 0,050 имп·с⁻¹.

Результаты измерений заносят в протокол поверки (таблица Б.12, приложение Б).

7.3.8 Определение чувствительности спектрометра МКС-АТ6102 к прямому нейтронному излучению плутоний-бериллиевого источника

7.3.8.1 Определение чувствительности спектрометра МКС-АТ6102 к прямому нейтронному излучению плутоний-бериллиевого источника проводят с использованием источника типа ИБН-8-6 на расстоянии $r_0 = 100$ см от центра источника до центра чувствительной области нейтронного детектора в следующей последовательности:

- а) выполняют операции согласно 7.3.7.1 (а);
- б) устанавливают спектрометр так, чтобы расстояние от его нижней поверхности до центра плутоний-бериллиевого источника было равно $r = [(r_0 - 2,3) \pm 0,2]$ см, при этом линия «центр источника излучения – спектрометр» должна проходить через метку (точка красного цвета), расположенную на нижней поверхности корпуса спектрометра, и перпендикулярно нижней поверхности;
- в) измеряют скорость счета фоновых импульсов нейтронного излучения N_0 , имп·с⁻¹, в течение не менее 20 мин согласно разделу 3 РЭ;
- г) измеряют скорость счета импульсов нейтронного излучения N , имп·с⁻¹, от плутоний-бериллиевого источника три раза со статистической погрешностью не более 3 % согласно разделу 3 РЭ. Определяют среднее арифметическое измеренных значений $\bar{N}$;
- д) определяют чувствительность S , (имп·с⁻¹)/(нейтр·с⁻¹·см⁻²), по формуле

$$S = \frac{\bar{N} - N_0}{\varphi(r_0)} \cdot b(r_0) \cdot K, \quad (13)$$

где $\varphi(r_0)$ – плотность потока нейтронов плутоний-бериллиевого источника на расстоянии $r_0 = 100$ см на дату поверки (из свидетельства о поверке), нейтр·с⁻¹·см⁻²;

$b(r_0)$ – коэффициент, учитывающий вклад рассеянного нейтронного излучения;

K – коэффициент, используемый при поверке на установках типа УКПН и обусловленный зависимостью чувствительности нейтронного детектора от энергии нейтронного излучения.

Коэффициент K равен отношению чувствительности нейтронного детектора при измерениях в открытой геометрии к чувствительности при измерениях на установках типа УКПН и определяется на конкретной установке типа УКПН для данного типа нейтронного детектора.

При проведении измерений в открытой геометрии $K = 1$.

Коэффициент $b(r_0)$ для открытой геометрии определяют по формуле

$$b(r_0) = \frac{N - N_c}{N - N_0}, \quad (14)$$

где N – скорость счета импульсов нейтронного излучения, измеренная по 7.3.8.1 (г), имп·с⁻¹;

N_0 – скорость счета фоновых импульсов нейтронного излучения, имп·с⁻¹;

N_c – скорость счета импульсов нейтронного излучения, измеренная с установленным между источником и спектрометром теньвым конусом, имп·с⁻¹;

Значение произведения $b(r_0) \cdot K$ на расстоянии $r_0 = 100$ см для данной установки типа УКПН вычисляют по формуле

$$b(r_0) \cdot K = \frac{S_0 \cdot \varphi(r_0)}{N - N_0}, \quad (15)$$

где S_0 – чувствительность спектрометра, определенная в условиях открытой геометрии, (имп·с⁻¹)/(нейтр·с⁻¹·см⁻²);

$\varphi(r_0)$ – плотность потока нейтронов на расстоянии r_0 для установки типа УКПН (из свидетельства о поверке), нейтр·с⁻¹·см⁻².

Полученное значение произведения $b(r_0) \cdot K$ используют при последующих поверках спектрометров МКС-АТ6102 на данной установке УКПН.

Результаты поверки считают удовлетворительными, если значение чувствительности спектрометра МКС-АТ6102 к прямому нейтронному излучению плутоний-бериллиевого источника составляет не менее 0,28 (имп·с⁻¹)/(нейтр·с⁻¹·см⁻²).

Результаты измерений заносят в протокол поверки (таблица Б.13, приложение Б).

7.3.9 Определение основной относительной погрешности при измерении мощности амбиентного эквивалента дозы нейтронного излучения спектрометров с БДКН-03

Определение основной относительной погрешности при измерении мощности амбиентного эквивалента дозы (далее – мощность дозы) нейтронного излучения спектрометров с блоком детектирования нейтронного излучения БДКН-03 (далее – БДКН-03) проводят на эталонной установке нейтронного излучения или в условиях открытой геометрии в точках поверки в соответствии с таблицей 7.10 в следующей последовательности:

Таблица 7.10

Номер точки поверки i	Мощность дозы $\dot{H}_{0i}^*(10)$, мкЗв/ч	Измерение мощности дозы $\dot{H}_i^*(10)$	
		Количество измерений	Статистическая погрешность, %, не более
1	1 – 10	3	6
2	20 – 100	3	3
3	$2 \cdot 10^2$ – 10^3	3	2
4	$2 \cdot 10^3$ – $1 \cdot 10^4$	3	2

а) устанавливают БДКН-03 на эталонную установку нейтронного излучения таким образом, чтобы центральная ось пучка излучения проходила на расстоянии 115 мм от торцевой поверхности корпуса БДКН-03 (рисунок 7.3);

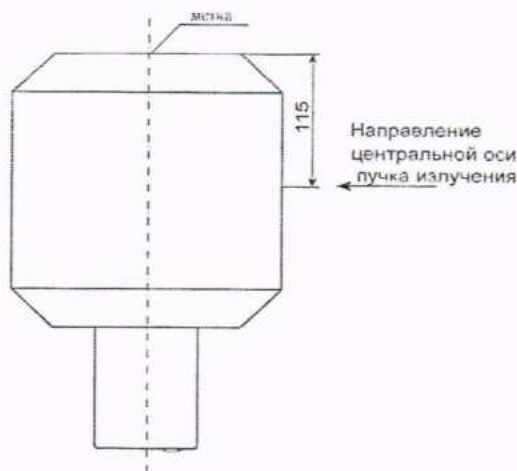


Рисунок 7.3

б) устанавливают расстояние r_i , мм, от центра источника до центра детектора, соответствующее мощности дозы $\dot{H}_{0i}^*(10)$ в i -й точке поверки (из свидетельства о поверке).

Примечание – Центр детектора находится на оси, проходящей через крестообразную метку на торцевой поверхности корпуса БДКН-03. Для того чтобы весь объем детектора находился в однородном пучке излучения, расстояние от источника излучения до БДКН-03 в точках поверки должно быть не менее 0,5 м для установок типа УКПН и не менее 0,3 м при поверке в открытой геометрии;

в) подключают БДКН-03 к спектрометру;

г) включают спектрометр и переходят в режим измерения мощности дозы нейтронного излучения согласно разделу 3 РЭ;

д) измеряют мощность дозы фонового нейтронного излучения (фон) $\dot{H}_{\text{фн}}^*(10)$, мкЗв/ч, в течение не менее 20 мин.

Примечание – Измерение фона проводят при отсутствии источника нейтронов на эталонной установке нейтронного излучения. Для точек поверки с мощностью дозы 20 мкЗв/ч и более фон допускается не учитывать;

е) подвергают БДКН-03 воздействию излучения с заданной мощностью дозы нейтронного излучения $\dot{H}_{0i}^*(10)$ и измеряют мощность дозы нейтронного излучения $\dot{H}_i^*(10)$ в i -й точке поверки согласно разделу 3 РЭ. Определяют среднее арифметическое измеренных значений $\bar{\dot{H}}_i^*(10)$, мкЗв/ч;

ж) вычисляют значение мощности дозы нейтронного излучения, обусловленное прямым излучением, по формуле

$$\dot{H}_{\text{пр}}^*(10) = \left(\bar{\dot{H}}_i^*(10) - \dot{H}_{\text{фн}}^*(10) \right) \cdot B(R)_i, \quad (16)$$

где $B(R)_i$ – коэффициент, учитывающий вклад рассеянного нейтронного излучения в показания в i -й точке поверки, определенный при поверке эталонной установки нейтронного излучения для данного типа блока детектирования (БДКН-03).

Коэффициенты $B(R)_i$ используются, если эталонная установка нейтронного излучения типа УКПН откалибрована по прямому нейтронному излучению (с вычитанием рассеянного в помещении излучения). При поверке в условиях открытой геометрии вклад рассеянного излучения определяется методом теневого конуса;

и) рассчитывают для i -й точки поверки доверительные границы основной относительной погрешности Δ_i (без учета знака), %, при доверительной вероятности 0,95 по формуле

$$\Delta_i = 1,1 \sqrt{\theta_{0i}^2 + \theta_{нpi}^2}, \quad (17)$$

где θ_{0i} – относительная погрешность эталонной установки нейтронного излучения в i -й точке поверки (из свидетельства о поверке), %;

$\theta_{нpi}$ – относительная погрешность измерения мощности дозы нейтронного излучения в i -й точке поверки, %, вычисляемая по формуле

$$\theta_{нpi} = \frac{\dot{H}_{нpi}^*(10) - \dot{H}_{0i}^*(10)}{\dot{H}_{0i}^*(10)} \cdot 100. \quad (18)$$

Результаты поверки считают удовлетворительными, если доверительные границы основной относительной погрешности при измерении мощности дозы нейтронного излучения спектрометра с БДКН-03 для всех точек поверки находятся в пределах ± 20 %.

Результаты измерений заносят в протокол поверки (таблица Б.14, приложение Б).

8 Оформление результатов поверки

8.1 Результаты поверки заносят в протокол поверки, рекомендуемая форма которого приведена в приложении Б.

8.2 При положительных результатах первичной поверки:

– наносят знак поверки на боковую поверхность спектрометра и (или) выдают свидетельство о поверке по форме, установленной [2];

– делают запись в разделе «Свидетельство о приемке» РЭ с указанием даты проведения поверки, заверенной подписью и знаком поверки в виде оттиска.

8.3 При положительных результатах последующей поверки наносят знак поверки на боковую поверхность спектрометра и (или) выдают свидетельство о поверке по форме, установленной [2].

8.4 При отрицательных результатах первичной поверки спектрометра выдают заключение о непригодности по форме, установленной [2].

8.5 При отрицательных результатах последующей поверки спектрометра выдают заключение о непригодности по форме, установленной [2], ранее нанесенный знак поверки подлежит уничтожению путем приведения его в состояние, непригодное для дальнейшего применения, предыдущее свидетельство о поверке прекращает свое действие.

Приложение А

(обязательное)

Обязательные метрологические требования (для спектрометров с датой выпуска после 01.08.2019)

Таблица А.1

Наименование	Значение
Диапазон энергий регистрируемого гамма-излучения, кэВ	от 20 до 3000
Пределы допускаемой основной относительной погрешности характеристики преобразования, %	± 1
Относительное энергетическое разрешение спектрометров для энергии гамма-излучения 662 кэВ радионуклида ^{137}Cs , %, не более: для МКС-АТ6102, МКС-АТ6102А для МКС-АТ6102В	8,0 8,5
Эффективность регистрации в пике полного поглощения для энергии гамма-излучения 662 кэВ радионуклида ^{137}Cs источника типа ОСГИ, %, не менее: для МКС-АТ6102, МКС-АТ6102А для МКС-АТ6102В	1,68 2,16
Диапазон измерений мощности AMBIENTного эквивалента дозы гамма-излучения: с детектором NaI(Tl) для МКС-АТ6102, МКС-АТ6102А с детектором NaI(Tl) для МКС-АТ6102В со счетчиком Гейгера-Мюллера для МКС-АТ6102, МКС-АТ6102А, МКС-АТ6102В	от 0,03 до 300 мкЗв/ч от 0,03 до 150 мкЗв/ч от 10 мкЗв/ч до 100 мЗв/ч
Пределы допускаемой основной относительной погрешности при измерении мощности AMBIENTного эквивалента дозы гамма-излучения, %	± 20
Диапазон измерений плотности потока альфа-частиц радионуклида ^{239}Pu спектрометров с БДПА-01, мин ⁻¹ ·см ⁻²	от 0,5 до 10 ⁵
Пределы допускаемой основной относительной погрешности при измерении плотности потока альфа-частиц радионуклида ^{239}Pu спектрометров с БДПА-01, %	± 20
Диапазон измерений плотности потока бета-частиц спектрометров с БДПБ-01, мин ⁻¹ ·см ⁻²	от 3 до 5·10 ⁵
Пределы допускаемой основной относительной погрешности при измерении плотности потока бета-частиц спектрометров с БДПБ-01, %	± 20
Диапазон измерений мощности AMBIENTного эквивалента дозы нейтронного излучения спектрометров с БДКН-03	от 0,1 мкЗв/ч до 10 мЗв/ч
Пределы допускаемой основной относительной погрешности при измерении мощности AMBIENTного эквивалента дозы нейтронного излучения спектрометров с БДКН-03, %	± 20
Чувствительность спектрометра МКС-АТ6102 к прямому нейтронному излучению плутоний-бериллиевого источника, (имп·с ⁻¹)/(нейтр·с ⁻¹ ·см ⁻²), не менее	0,28
Скорость счета фоновых импульсов нейтронного излучения спектрометра МКС-АТ6102 при естественном нейтронном фоне, имп·с ⁻¹	от 0,010 до 0,050

Приложение Б
(рекомендуемое)
Форма протокола поверки

наименование организации, проводящей поверку

Протокол № _____

поверки спектрометра МКС-АТ6102 _____ зав. № _____

принадлежащего _____

наименование организации

Изготовитель _____

наименование изготовителя

Дата проведения поверки _____

год, месяц, число

Поверка проводится по _____

документ, по которому проводится поверка

Средства поверки

Таблица Б.1

Наименование и тип СИ	Заводской номер

Условия поверки:

- | | | |
|-----------------------------------|-------|---------|
| – температура окружающего воздуха | _____ | °С; |
| – относительная влажность воздуха | _____ | %; |
| – атмосферное давление | _____ | кПа; |
| – фон гамма-излучения | _____ | мкЗв/ч. |

Результаты поверки:

Б.1 Внешний осмотр

соответствует/не соответствует

Б.2 Опробование

соответствует/не соответствует

Таблица Б.2

Идентификационные данные (признаки)	Значение
Идентификационное наименование ПО	
Номер версии (идентификационный номер) ПО	

Б.3 Определение метрологических характеристик

Б.3.1 Определение основной относительной погрешности характеристики преобразования и проверка диапазона энергий регистрируемого гамма-излучения

Таблица Б.3

Диапазон энергий регистрируемого гамма-излучения 20–1500 кэВ								
Радионуклид	¹³⁷ Cs		²⁴¹ Am	⁵⁷ Co	¹³⁹ Ce	¹¹³ Sn	⁵⁴ Mn	²² Na
Энергия излучения E_{0i} , кэВ	32	662	60	122	166	392	835	1275
Измеренное значение энергии E_i , кэВ								
$\Delta E_i = E_{0i} - E_i $, кэВ								
$\Delta E_{\max} =$ кэВ	ПХП (при поверке) = %						ПХП ≤ 1 %	

Таблица Б.4

Диапазон энергий регистрируемого гамма-излучения 20–3000 кэВ									
Радионуклид	¹³⁷ Cs		²⁴¹ Am	⁵⁷ Co	¹³⁹ Ce	¹¹³ Sn	⁵⁴ Mn	²² Na	²²⁸ Th
Энергия излучения E_{0i} , кэВ	32	662	60	122	166	392	835	1275	2614
Измеренное значение энергии E_i , кэВ									
$\Delta E_i = E_{0i} - E_i $, кэВ									
$\Delta E_{\max} =$ кэВ	ПХП (при поверке) = %						ПХП ≤ 1 %		

Б.3.2 Определение относительного энергетического разрешения для энергии гамма-излучения 662 кэВ радионуклида ¹³⁷Cs

Таблица Б.5

Тип источника гамма-излучения	Измеренное значение относительного энергетического разрешения R , %	Значение относительного энергетического разрешения R , %, не более
ОСИ, ¹³⁷ Cs, активность от 8 до 24 кБк		

Б.3.3 Определение эффективности регистрации в пике полного поглощения для энергии гамма-излучения 662 кэВ радионуклида ^{137}Cs источника типа ОСГИ

Таблица Б.6

Тип источника гамма-излучения	Измеренное значение энергии E , кэВ	Границы ППП E_s , E_n , кэВ	Скорость счета фоновых импульсов N_{ϕ} , имп·с ⁻¹	Скорость счета импульсов N , имп·с ⁻¹	Рассчитанное значение эффективности регистрации в ППП ε , %	Эффективность регистрации в ППП ε , %
ОСГИ $A_0 = \text{Бк}$		$E_s =$ $E_n =$				

Б.3.4 Определение основной относительной погрешности при измерении мощности амбиентного эквивалента дозы гамма-излучения спектрометров МКС-АТ6102, МКС-АТ6102А с детектором NaI(Tl)

Таблица Б.7

Мощность дозы в точке поверки $\dot{H}_{0i}^*(10)$, мкЗв/ч	Мощность дозы фона $\dot{H}_{\phi i}^*(10)$, мкЗв/ч	Измерение мощности дозы		Относительная погрешность $\theta_{пр}$, %	Доверительные границы основной относительной погрешности Δ_i , %	Пределы допускаемой основной относительной погрешности, %
		Измеренное значение $\dot{H}_i^*(10)$, мкЗв/ч	Среднее арифметическое измеренных значений $\bar{\dot{H}}_i^*(10)$, мкЗв/ч			
0,07						
0,70						
7,0						
70,0						
240						

Б.3.5 Определение основной относительной погрешности при измерении мощности амбиентного эквивалента дозы гамма-излучения спектрометра МКС-АТ6102В с детектором NaI(Tl)

Таблица Б.8

Мощность дозы в точке поверки $\dot{H}_{0i}^*(10)$, мкЗв/ч	Мощность дозы фона $\dot{H}_{fi}^*(10)$, мкЗв/ч	Измерение мощности дозы		Относительная погрешность $\theta_{при}$, %	Доверительные границы основной относительной погрешности Δ_i , %	Пределы допускаемой основной относительной погрешности, %
		Измеренное значение $\dot{H}_i^*(10)$, мкЗв/ч	Среднее арифметическое измеренных значений $\bar{\dot{H}}_i^*(10)$, мкЗв/ч			
0,07						
0,70						
7,0						
70,0						
130						

Б.3.6 Определение основной относительной погрешности при измерении мощности амбиентного эквивалента дозы гамма-излучения спектрометра с детектором на основе счетчика Гейгера-Мюллера

Таблица Б.9

Мощность дозы в точке поверки $\dot{H}_{0i}^*(10)$, мЗв/ч	Измерение мощности дозы		Относительная погрешность $\theta_{при}$, %	Доверительные границы основной относительной погрешности Δ_i , %	Пределы допускаемой основной относительной погрешности, %
	Измеренное значение $\dot{H}_i^*(10)$, мЗв/ч	Среднее арифметическое измеренных значений $\bar{\dot{H}}_i^*(10)$, мЗв/ч			
0,07					
0,70					
7,0					
70,0					

Б.3.7 Определение основной относительной погрешности при измерении плотности потока альфа-частиц радионуклида ^{239}Pu спектрометров с БДПА-01

Таблица Б.10

Плотность потока альфа-частиц в точке поверки φ_{0i} , мин ⁻¹ ·см ⁻²	Измерение плотности потока альфа-частиц		Относительная погрешность $\theta_{\text{пр}}$, %	Доверительные границы основной относительной погрешности Δ_i , %	Пределы допускаемой основной относительной погрешности, %
	Измеренное значение φ_i , мин ⁻¹ ·см ⁻²	Среднее арифметическое измеренных значений $\bar{\varphi}_i$, мин ⁻¹ ·см ⁻²			
10 – 10 ²					
10 ² – 10 ³					
10 ³ – 10 ⁴					
10 ⁴ – 10 ⁵					

Б.3.8 Определение основной относительной погрешности при измерении плотности потока бета-частиц спектрометров с БДПБ-01

Таблица Б.11

Плотность потока бета-частиц в точке поверки φ_{0i} , мин ⁻¹ ·см ⁻²	Измерение плотности потока бета-частиц		Относительная погрешность $\theta_{\text{пр}}$, %	Доверительные границы основной относительной погрешности Δ_i , %	Пределы допускаемой основной относительной погрешности, %
	Измеренное значение φ_i , мин ⁻¹ ·см ⁻²	Среднее арифметическое измеренных значений $\bar{\varphi}_i$, мин ⁻¹ ·см ⁻²			
10 – 10 ²					
10 ² – 10 ³					
10 ³ – 10 ⁴					
10 ⁴ – 10 ⁵					
10 ⁵ – 5·10 ⁵					

Б.3.9 Определение скорости счета фоновых импульсов нейтронного излучения спектрометра МКС-АТ6102 при естественном нейтронном фоне

Таблица Б.12

Измеренное значение скорости счета фоновых импульсов нейтронного излучения N_0 , имп·с ⁻¹	Среднее арифметическое измеренных значений $\bar{N}_0$, имп·с ⁻¹	Скорость счета фоновых импульсов нейтронного излучения, имп·с ⁻¹

Б.3.10 Определение чувствительности спектрометра МКС-АТ6102 к прямому нейтронному излучению плутоний-бериллиевый источника

Таблица Б.13

Плотность потока нейтронов в точке поверки $\varphi(r_0)$, $\text{с}^{-1} \cdot \text{см}^{-2}$	Тип и № источника	Расстояние до источника r_0 , см	Значение произведения $b(r_0) \cdot K$	Измерение скорости счета импульсов		Рассчитанное значение чувствительности S , $(\text{имп} \cdot \text{с}^{-1}) / (\text{нейтр} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{см}^{-2})$	Чувствительность S , $(\text{имп} \cdot \text{с}^{-1}) / (\text{нейтр} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{см}^{-2})$, не менее
				Измеренное значение N , $\text{имп} \cdot \text{с}^{-1}$	Среднее арифметическое измеренных значений $\bar{N}$, $\text{имп} \cdot \text{с}^{-1}$		
Фон							
5–1000							

Б.3.11 Определение основной относительной погрешности при измерении мощности амбиентного эквивалента дозы нейтронного излучения спектрометра с БДКН-03

Таблица Б.14

Мощность дозы в точке поверки $\dot{H}_0^*(10)$, мкЗв/ч	Тип и № источника	Расстояние до источника r , см	Значение коэффициента $B(R)_i$	Измерение мощности дозы		Мощность дозы $\dot{H}_{пр}^*(10)$, мкЗв/ч	Относительная погрешность $\theta_{пр}$, %	Доверительные границы основной относительной погрешности Δ_i , %	Пределы допускаемой основной относительной погрешности, %
				Измеренное значение $\dot{H}_i^*(10)$, мкЗв/ч	Среднее арифметическое измеренных значений $\bar{\dot{H}}_i^*(10)$, мкЗв/ч				
Фон									
1 – 10									
20 – 100									
$2 \cdot 10^2 - 10^3$									
$2 \cdot 10^3 - 10^4$									

Заключение _____

Свидетельство о поверке
(заключение о непригодности)

№ _____

Поверитель

подпись

расшифровка подписи

год, месяц, число

Библиография

- [1] Правила осуществления метрологической оценки для утверждения типа средств измерений и стандартных образцов.
Утверждены постановлением Государственного комитета по стандартизации Республики Беларусь 20.04.2021 № 38
- [2] Правила осуществления метрологической оценки в виде работ по государственной поверке средств измерений.
Утверждены постановлением Государственного комитета по стандартизации Республики Беларусь 24.04.2021 № 40
- [3] Санитарные нормы и правила «Требования к радиационной безопасности»
Утверждены постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 28 декабря 2012 г. №213
- [4] Санитарные нормы и правила «Требования к обеспечению радиационной безопасности персонала и населения при осуществлении деятельности по использованию атомной энергии и источников ионизирующего излучения»
Утверждены постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 31 декабря 2013 г. №137

Лист регистрации изменений

Изм.	Номера листов (страниц)				Всего листов (страниц) в документе	№ документа	Входящий № сопроводительного документа и дата	Подпись	Дата
	измененных	замененных	новых	аннулированных					
1	—	2-30	31	—	31	ТИАЯ.40-2020		<i>А.А.А.</i>	23.04.2020
2	—	2-30	31	—	31	ТИАЯ.157-2023		<i>А.А.А.</i>	29.03.2024