

МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ АКУСТООПТИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

Н.А. Аскеров

*ФГУП «ВНИИФТРИ», Менделеево, Московская обл., Россия,
askerov@vniiftri.ru*

Аннотация. Представлены разработанные во ФГУП «ВНИИФТРИ» акустооптические средства измерения, средства измерения метрологического обеспечения: технологические стенды, рабочие аттестационные средства измерения, государственные рабочие эталоны; результаты исследований метрологических характеристик разработанных аттестационных и акустооптических средств измерений. Приведён перечень разработанных нормативных документов метрологического обеспечения.

Ключевые слова: акустооптический фильтр, акустооптический спектрометр, акустооптический спиртомер, спектральная плотность энергетической яркости, объёмная доля этилового спирта, единица массовой концентрации газов, кювета.

METROLOGICAL SUPPORT OF ACOUSTO-OPTICAL MEASUREMENT INSTRUMENTS

N.A. Askerov

*FSUE “VNIIFTRI”, Mendeleevo, Moscow region, Russia,
askerov@vniiftri.ru*

Abstract. Acousto-optic measuring instruments, measuring instruments for metrological support developed at FSUE “VNIIFTRI” are presented: technological showcase, working certification measuring instruments, state working standards; results of studies of the metrological characteristics of the developed certification and acousto-optic measuring instruments. The list of developed regulatory documents for metrological support is given.

Keywords: acousto-optical filter, acousto-optical spectrometer, acousto-optical alcohol meter, spectral radiance, volume fraction of ethyl alcohol, unit of gas mass concentration, cuvette.

Введение

Во ФГУП «ВНИИФТРИ» были разработаны акустооптические фильтры (АОФ), на их основе впервые в мире разработаны акустооптические поляризационные спектрометры космического базирования «Трассер-НХМ» и «Трассер-О», авиа-, судовые спектрометры «Трассер-АС», «Полас-128», «Полас-2048» в диапазоне длин волн 0,4–0,8 мкм, спектрометры «Кварц 1», «Кварц 2», «Кварц 3», «Кварц 4», «Кварц УФ», «Кварц ВД», «Микрохрон-5» в диапазоне длин волн 0,2–1,2 мкм, видеоспектрометры, спектральный акустооптический газоанализатор «САГА», медицинский дихрограф «ОНКОТЕСТ»,

акустооптический анализатор цвета «Спектрон», перестраиваемый лазер, «Озонметр», оптические спиртомеры «ИКОНЭТ-ВС», «ИКОНЭТ-М», «ИКОНЭТ-МП», «ИКОНЭТ-МП1», «ИКОНЭТ-ВС-П» и т.п. [1].

Более 10 типов разработанных акустооптических (АО) средств измерений внесены в Государственный реестр средств измерений.

Метрологическое обеспечение

Высокий технический и метрологический уровни разработки зависят от правильности идеологии создания средств измерений, технического совершенства комплектующих изделий, метрологического обеспечения разработки, учёта и своевременного решения возникающих технических и метрологических проблем, программного обеспечения, метрологического контроля разработки на всех этапах изготовления — от культуры производства, настройки и наладки до аттестации средств измерений.

Поскольку исследования различных объектов в значительной степени опираются на использование количественных методов обработки данных, достоверность результатов исследований оказывается в непосредственной зависимости от измерительных свойств средств измерений, эталонного источника излучения, от их метрологических характеристик.

Разработаны следующие технологические стенды, используемые в процессе сборки и наладки отдельных элементов, блоков и узлов АО устройств:

- стенд исследования характеристик фотоэлектронного умножителя (ФЭУ);
- стенд измерения эффективности АО ячеек (АОЯ);
- стенд измерения оптического контраста АОЯ.

Разработаны, комплектованы нормативно-техническими документами и аттестованы следующие рабочие аттестационные средства измерения, используемые при настройке, наладке, определении и контроле ряда важных параметров АО спектрометров:

- фотометрические сферы — источники излучения спектральной плотности энергетической яркости (СПЭЯ), предназначенные для настройки, наладки и предварительной градуировки АО спектрометров (рис. 1);



Рис. 1. Фотометрические сферы

- источник белого света ИБС, предназначенный для определения нелинейности фотоприёмного устройства спектрометра;
- стенд юстировочный угломерный, предназначенный для настройки оптических трактов, выставки направлений осей визирования относительно механических баз и определения угла зрения АО спектрометра;
- имитатор бортовой сети ИБС-500, предназначенный для имитации выходных параметров первичной сети электропитания постоянного тока и измерения помех, наводимых потребителями энергии в первичной сети питания;
- контрольно-испытательная аппаратура КИА Фг, предназначенная для имитации блока обработки сигналов БОС-Т при проведении испытаний фотоголовки (Фг) (рис. 2) и КПО «Трассер НХМ»;

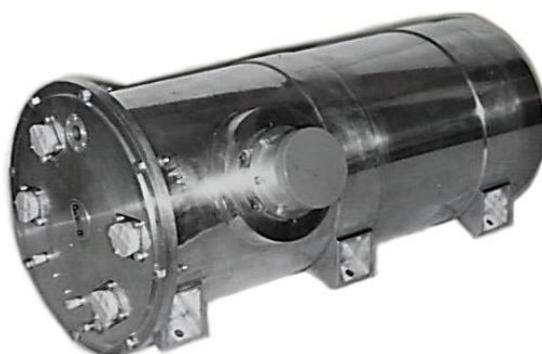


Рис. 2. Фотоголовка

- контрольно-испытательные аппаратуры КИА «Трассер НХМ», КИА «Трассер О» и блок контрольно-испытательный БКИ (рис. 3), предназначенные для проверки параметров и характеристик АО спектрометров «Трассер НХМ» и «Трассер О» при проведении входного контроля, автономных проверок и отыскания неисправностей спектрометра в составе объекта.



Рис. 3. Блок контрольно-испытательный БКИ

Разработан мобильный шаровой диффузный излучатель (ШДИ) СПЭЯ. ШДИ выполнен в виде фотометрической сферы диаметром 180 мм, с излучающим отверстием 60 мм в диаметре. С внутренней стороны над фланцем, под лампами установлена фторопластовая кольцевая пластина. Источником излучения служат 4 последовательно соединённые галогенные лампы накаливания КГМН 6,3-15, равномерно расположенные на фланце. Фланец ШДИ выполнен в виде радиатора, благодаря которому даже его длительное включение не приводит к его сильному нагреву.

Метрологическая аттестация

АО спектрометры аттестуются в единицах СПЭЯ. Аттестация спектрометра строится в соответствии с поверочной схемой ГОСТ 8.195-2013 «ГСИ. Государственная поверочная схема для средств измерений спектральной плотности энергетической яркости, спектральной плотности силы излучения, спектральной плотности энергетической освещённости, силы излучения и энергетической освещённости в диапазоне длин волн от 0,2 до 25,0 мкм».

Основными характеристиками АО спектрометров, подлежащими метрологической аттестации — градуировке и поверке, являются:

- чувствительность спектральных каналов;
- динамический диапазон измерения СПЭЯ;
- погрешность нелинейности;
- погрешность измерения длины волны;
- спектральная разрешающая способность;
- СПЭЯ внутреннего калибровочного канала;
- СКО ряда и результата измерения СПЭЯ;
- допускаемая граница погрешности результата измерения СПЭЯ.

Оценка точности акустооптических спектрометров приведена в работе [2].

АО спиртомеры аттестуются в единицах объёмной доли этилового спирта в соответствии с поверочной схемой ГОСТ 8.024-2002 «ГСИ. Государственная поверочная схема для средств измерений плотности».

Разработанные государственные рабочие эталоны

Государственный рабочий эталон единицы спектральной плотности энергетической яркости 1 разряда в диапазоне длин волн 0,36...2,00 мкм $\Delta_0 = 1,6-4,0\%$ № 3.1.ZZT.0075.2013 (рис. 4).

В состав эталона входит шаровой диффузный излучатель ШДИ [3, 4].

Государственный рабочий эталон единицы спектральной плотности энергетической яркости 1 разряда в диапазоне длин волн 0,22...0,42 мкм $\Delta_0 = 7,0-2,4\%$ № 3.1.ZZT.0074.2013 (рис. 5).

В состав эталона входит диффузный ультрафиолетовый излучатель ДУФИ [4].



Рис. 4. Государственный рабочий эталон единицы СПЭЯ 1 разряда в диапазоне длин волн 0,36...2,00 мкм



Рис. 5. Государственный рабочий эталон единицы СПЭЯ 1 разряда в диапазоне длин волн 0,22...0,42 мкм

Государственный рабочий эталон единицы показателя белизны номинальных значений 72,7 и 85,3 % на длине волны 569 нм $\Delta_0 = 0,5$ % № 3.1.ZZT.0073.2013.

В состав эталона входит набор мер белизны НМБ-569.

Государственный рабочий эталон единицы объемной доли этилового спирта 1 разряда в диапазоне 0...100 % об. № 3.1.ZZT.0063.2013 — 3.1.ZZT.0072.2013 $\Delta_0 = 0,02$ –0,01 % об.

В состав эталона входят стеклянные ареометры для спирта АСП — рабочие эталоны 1 разряда (ТУ 4321-017-07609129-2004) с диапазонами (0–10, 10–20, 20–30, 30–40, 40–50, 50–60, 60–70, 70–80, 80–90, 90–100) % об. [5].

Рабочий эталон единицы массовой концентрации газов $\Delta_0 = 12,0$ %. Реестр ВНИИФТРИ. Свидетельство № 001-11-08/1.

В состав эталона входят аттестованные стеклянные газовые кюветы в диапазоне длин волн 250–450 нм: диоксид азота NO_2 ; диоксид серы SO_2 ; хлор Cl_2 ; формальдегид H_2CO ; бензол C_6H_6 ; толуол $\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3$; фенол $\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$; нафталин C_{10}H_8 ; пара-ксилол $\text{C}_6\text{H}_4(\text{CH}_3)_2$; мета-ксилол $\text{C}_6\text{H}_4(\text{CH}_3)_2$ [6].

Сводная таблица характеристик газовых кювет приведена в таблице 1.

Таблица 1

Сводная таблица характеристик газовых кювет

Содержимое	Номер кюветы	Размеры, см		Интегральная концентрация, ppm.л.	Суммарная погрешность, %	Высота спектрального пика оптической плотности при полосе пропускания 0,5 нм
		длина	диаметр			
Ацетон	A1(44)	10	4,2	3804	12	0,1339
	A2(43)	4	4,2	1500	10	0,0528
	A3(42)	1,5	4,2	597	12	0,0210
Бензол	B1(29)	10	4,2	82	11	0,0670
	B2(90)	10	3,7	519	11	0,4240
	B3(66)	6	4,0	452	11	0,3690
	B4(67)	2	4,0	214	10	0,1748
	B5(27)	1,5	4,2	14	11	0,0111
	B6(68)	0,3	4,0	38	11	0,0310
Хлор	X1(12)	5	3,9	2016	12	0,3885
	X2(11)	2	3,9	780	10	0,1503
	X3(10)	0,2	3,9	64	12	0,0124
Сероуглерод	C1(26)	10	4,2	1524	10	0,2114
	C2(63)	6	4,0	1077	11	0,1493
	C3(25)	4	4,2	631	11	0,0875
	C4(64)	2	4,0	358	11	0,0497
	C5(24)	1	4,0	153	11	0,0212
	C6(65)	0,2	4,0	35	11	0,0048
Этилбензол	ЭБ1(80)	6	4,0	144	10	-0,0681
	ЭБ2(79)	2	4,0	48	11	-0,0225
	ЭБ3(78)	1	4,0	22	11	-0,0105
Фенол	Ф1(57)	5	4,0	8,7	10	0,0751
	Ф2(34)	4	4,2	2,4	11	0,0210
	Ф3(58)	1,5	4,0	2,1	11	0,0177
	Ф4(33)	1,5	4,2	1,1	11	0,0094
	Ф5(59)	0,5	4,0	0,6	11	0,0052
Формальдегид	ФД1(13)	5	4,0	2808	11	0,1011
	ФД2(87)	5	4,0	1408	11	0,0507
	ФД3(14)	2	4,0	1300	11	0,0468
	ФД4(88)	1,5	4,0	297	11	0,0107
	ФД5(89)	0,4	4,0	100	10	0,0036
	ФД6(15)	0,2	4,0	122	11	0,0044
Нафталин	Н1(38)	10	4,2	7,7	11	0,0880
	Н2(37)	4	4,2	3,0	10	0,0342
	Н3(36)	1,5	4,2	1,3	11	0,0146
Двуокись азота	ДА1(19)	10	3,0	1599	6	0,4067
	ДА2(60)	6	4,0	39	6	0,0098
	ДА3(3)	5	4,0	140	5	0,0356
	ДА4(6)	5	4,0	2281	6	0,5801
	ДА5(17)	4,5	3,7	693	6	0,1762
	ДА6(18)	4,5	3,7	700	6	0,1780
	ДА7(16)	2	3,7	330	6	0,0839
	ДА8(61)	2	4,0	14	6	0,0035
	ДА9(62)	1	4,0	6	6	0,0015
	ДА10(1)	0,2	4,0	5	6	0,0013

Продолжение таблицы 1

Содержимое	Номер кюветы	Размеры, см		Интегральная концентрация, ррт.п.	Суммарная погрешность, %	Высота спектрального пика оптической плотности при полосе пропускания 0,5 нм
		длина	диаметр			
Двуокись серы	ДС1(23)	10	3,0	1243	6	-0,8527
	ДС2(9)	5	4,0	262	6	-0,1799
	ДС3(22)	4,5	3,6	577	6	-0,3960
	ДС4(81)	5	4,0	134	5	-0,0919
	ДС5(20)	2	3,6	290	6	-0,1992
	ДС6(21)	2	3,6	289	6	-0,1983
	ДС7(82)	2	4,0	55	6	-0,0374
	ДС8(83)	1	4,0	28	6	-0,0192
	ДС9(84)	0,5	4,0	13	6	-0,0091
	ДС10(7)	0,2	4,0	10	6	-0,0067
	ДС11(85)	0,2	4,0	5	6	-0,0037
	ДС12(86)	0,1	4,0	3	6	-0,0018
Мета-ксилол	МК1(93)	10	3,7	575	11	0,4696
	МК2(72)	10	4,2	566	11	0,4622
	МК3(47)	10	4,2	97	11	0,0796
	МК4(73)	6	4,0	336	11	0,2747
	МК5(46)	4	4,2	37	11	0,0301
	МК6(74)	2	4,0	116	10	0,0907
	МК7(45)	2	4,2	18	11	0,0145
Пара-ксилол	ПК1(92)	10	3,7	406	11	0,8241
	ПК2(53)	10	4,2	28	11	0,0577
	ПК3(69)	6	4,0	321	11	0,6516
	ПК4(52)	4	4,2	12	11	0,0239
	ПК5(70)	3	4,0	165	11	0,3357
	ПК6(51)	2	4,2	6	11	0,0128
	ПК7(71)	1,5	4,0	91	10	0,1848
Толуол	T1(91)	10	3,6	968	11	0,6664
	T2(32)	10	4,1	122	11	0,0839
	T3(75)	6	4,0	466	11	0,3209
	T4(31)	4	4,2	52	11	0,0357
	T5(76)	3	4,0	244	11	0,1680
	T6(30)	1,5	4,2	18	11	0,0127
	T7(77)	1	4,0	91	10	0,0627

Исследование метрологических характеристик

Характеристики белых светорассеивающих покрытий, используемые в фотометрических сферах — диффузных источниках излучения, приведены в таблице 2.

Таблица 2

Белые светорассеивающие покрытия

Тип покрытия	Длина волны	Коэффициент спектрального отражения	Требование ГОСТ 9.104-79	Примечание
Алюмо-силикатный	0,30	0,67–0,70	У4, ХЛ4	Покрытие с высокими прочностными свойствами. Выдерживает перепад температуры –40...+40 °С. Хорошая адгезия к различным металлам. Отличается большой трудоёмкостью при изготовлении
	0,45	0,85–0,90		
	0,70	0,90–0,95		
	1,20	0,84–0,86		
	1,60	0,80–0,83		
	2,00	0,70–0,78		
Эмаль бариевая	0,30	0,60	У4, ХЛ4	Покрытие нестойкое при ударе. Отличается большой трудоёмкостью при нанесении
	0,45	0,87		
	0,50–0,90	0,90		
	1,00–1,60	0,93–0,94		
	2,00	0,88		
АК-573	0,41–0,70	0,80–0,83	У2, У4, ХЛ2, ХЛ4	Выдерживает перепад температур от –60...+200 °С. Хорошая адгезия к алюминиевым и магниевым сплавам

Исследованы долговременные стабильности встроенных калибровочных ламп ТРШ, галогеновых ламп накаливания КГМ 12-100, КГМ 12-40, КГМ 6,3-15, используемых в фотометрических сферах [3].

Проведено испытание Солнечного канала калибровки спектрометра космического базирования «Трассер-О» лампами-фарами накаливания.

Исследованы метрологические характеристики спектрометра в зависимости от вращения фотоголовки (Фг) спектрометра вокруг оси и от горизонтального положения до вертикального — имитация положений Фг спектрометра при авиационных и судовых измерениях.

Исследованы калибровочные каналы спектрометров.

Исследовались калибровочные данные спектрометров до и после испытаний. Передаточные характеристики «Трассер-АС» приведены на рис. 6.

Проведены конструкторско-доводочные испытания «Трассер-НХМ» и «Трассер-О».

Изготовлены авиационные и судовые приспособления для установки спектрометров.

Исследованы метрологические характеристики акустооптических спиртомеров.

Проведены испытания акустооптического спиртомера «ИКОНЭТ-М» [7].

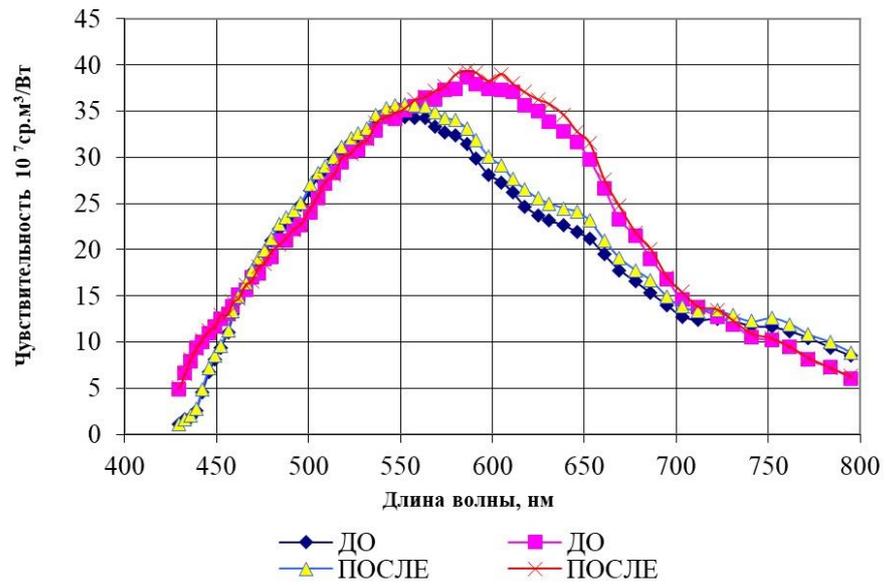


Рис. 6. Передаточные характеристики «Трассер-АС»

Контроль характеристик АО средств измерений на этапе его эксплуатации

Схема измерений и калибровки АО спектрометра приведена на рис. 7.

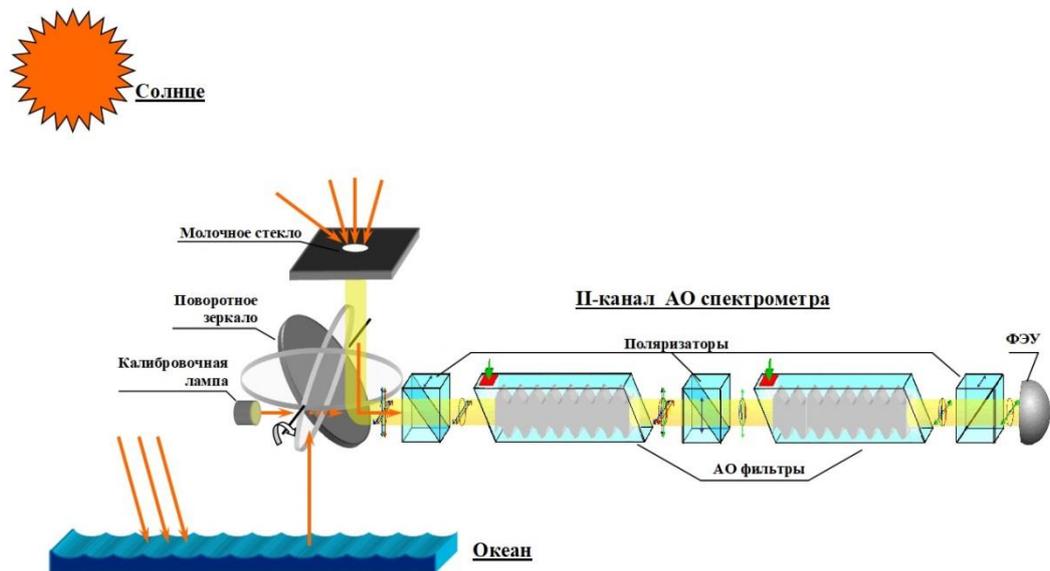


Рис. 7. Схема измерений и калибровки АО спектрометра

Разработанные акустооптические (АО) спектрометры снабжены внутренним калибровочным каналом. Контроль стабильности работы спектрометра осуществляется путём периодической передачи результата калибровки от внутренних калибровочных ламп. Калибровочные данные спектрометров, полученные из орбиты, контролировались сравнением с данными до запуска.

АО спектрометры «Трассер НХМ» и «Трассер О», кроме основного канала, имели резервный канал с внутренним опорным калибровочным источником излучения. Спектрометр «Трассер О», кроме внутреннего опорного калибровочного канала, имел канал Солнечной калибровки, выполненный в виде отдельного входного окна в головной части фотоголовки (ФГ), в котором в качестве иллюминатора служило матовое молочное стекло.

В АО поляризационных спектрометрах типа «Трассер НХМ», «Трассер О», «Трассер АС» в качестве внутреннего опорного калибровочного источника излучения использовались лампы накаливания типа ТРШ1600-2200, обладающие большой временной стабильностью параметров, излучения не более 2 % за 400 часов при работе с недокалом. Для каждой поляризации — своя лампа. Перед лампами установлены нейтральные фильтры типа СЗС-17, частично выравнивающие спектр излучения.

В спектрометрах «Полас-128АС» и «Полас-2048» в качестве калибровочного канала используется внешняя фотометрическая сфера с диффузным покрытием.

АО спектрометры типа «Кварц», предназначенные для работы в лабораторных условиях, встроенного калибровочного канала не имеют. АО спектрометры «Кварц», используемые в экспедиционных работах, оснащены внешним мобильным калибровочным устройством, в котором в качестве источника излучения служит аттестованная фотометрическая сфера.

В процессе аттестации АО спектрометров осуществляется перенос единицы СПЭЯ с эталонного источника излучения на калибровочные каналы АО спектрометра (лампы, калибровочные устройства), которые после этого становятся опорными источниками абсолютных значений СПЭЯ в процессе эксплуатации. До и после экспедиций проводится внеочередная калибровка калибровочного канала АО спектрометра.

Внутренний калибровочный канал позволяет:

- делать привязку измерительных данных к абсолютной шкале СПЭЯ;
- осуществить метрологический контроль за работой АО спектрометра, сравнивая с исходными калибровочными данными.

Разработанные спиртомеры укомплектованы двухканальными оптическими кюветами, опорный канал кюветы заполнен эталонным водно-спиртовым раствором. Объёмная доля спирта в канале, измеренная ареометром для спирта — рабочим эталоном 1-го разряда, остаётся неизменной за весь период эксплуатации спиртомера [8–10].

Разработанные нормативные документы метрологического обеспечения

Разработанными нормативными документами метрологического обеспечения являются:

Методика метрологической аттестации экспериментального образца шарового диффузного источника излучения ШДИИ.

Методика градуировки спектрометра видимого диапазона на основе аппаратуры «ТРАССЕР». Аттестован ФГУП «ВНИИФТРИ».

МИ 924-85. Методические указания. ГСИ. Методика градуировки спектрометров типа «ТРАССЕР» в диапазоне длин волн 0,4–1,1 мкм.

МИ 1731-87. Методические указания. ГСИ. Спектрометры типа «ТРАССЕР». Методика поверки.

МИ 2041-89. Рекомендации. ГСИ. Спектрометры акустооптические типа «КВАРЦ». Методика поверки.

МВИ. Методика выполнения измерений массового содержания газовых примесей в атмосфере трассовым газоанализатором «САГА-Т». Аттестован ФГУП «ВНИИФТРИ».

Методические указания. ГСИ. Озонометр. Методика калибровки. МГФК 413310.001 МК. Аттестован ФГУП «ВНИИФТРИ».

МВИ. Методика выполнения измерений объёмного содержания этилового спирта в водно-спиртовых и многокомпонентных спиртосодержащих растворах оптическим спиртомером «ИКОНЭТ-М». Аттестован ФГУП «ВНИИФТРИ» (Свидетельство об аттестации МВИ № 1-001-100-2000 от 17.05.2000 г.). Регистрационный код МВИ по Федеральному реестру — ФР.1.31.2002.00612.

МВИ. Методика измерений объёмной доли этилового спирта в многокомпонентных растворах алкогольной продукции. Аттестован ФГУП «ВНИИФТРИ» (Свидетельство об аттестации МВИ № 195-01.00294-2010/2012 от 14.03.2012 г.). Регистрационный номер в Информационном фонде по обеспечению единства измерений — ФР.1.31.2012.11977.

МВИ. Методика выполнения измерений объёмной доли этилового спирта в водно-спиртовых и многокомпонентных спиртосодержащих растворах спиртомером оптического типа «ИКОНЭТ-МП». Аттестован ФГУП «ВНИИФТРИ» (Свидетельство об аттестации МВИ № 001-140-2007 от 17.05.2000 г.).

МВИ. Определение объёмной доли этилового спирта в водно-спиртовых и многокомпонентных спиртосодержащих растворах спиртомером оптического типа «ИКОНЭТ-МП». Аттестован ФГУП «ВНИИФТРИ».

МИ 3049-2007. ГСИ. Спиртомер оптический типа «ИКОНЭТ-МП». Методика градуировки по многокомпонентным спиртосодержащим растворам.

Методика градуировки оптических спиртомеров типа «ИКОНЭТ-М» по многокомпонентным спиртосодержащим растворам. Аттестован ФГУП «ВНИИФТРИ».

ГСИ. Методика приготовления водно-спиртовых растворов и измерения в них объёмной доли этилового спирта. Аттестован ФГУП «ВНИИФТРИ».

ГСИ. Определение объёмной доли этилового спирта в многокомпонентных спиртосодержащих растворах, аттестация результатов измерений. Аттестован ФГУП «ВНИИФТРИ».

Список литературы

1. Мазур М.М., Пожар В.Э. Спектрометры на акустооптических фильтрах // Измерительная техника. — № 9 — 2015. — С. 29–33.
2. Аскеров Н.А. Оценка точности акустооптических спектрометров // Изменение параметров преобразователей и материалов для акустооптической и оптоэлектронной аппаратуры: сб. науч. тр. ВНИИФТРИ. — 1988. — С. 83.
3. Аскеров Н.А., Мазур М.М. Разработка устройств калибровки оптических спектрометров // Методы и средства прецизионной спектрометрии: сб. науч. тр. ВНИИФТРИ. — 1987. — С. 56–62.
4. Аскеров Н.А., Мазур М.М. Широкоапертурные рабочие эталоны СПЭЯ в диапазоне длин волн 0,22...2,00 мкм // Акустооптические, акустические и рентгено-спектральные методы и средства измерений в науке и технике: сб. науч. тр. ВНИИФТРИ. — 2005. — С. 192–195.
5. Аскеров Н.А. Рабочий эталон измерения объёмной доли этилового спирта в диапазоне 0...100 % об. // Акустооптические, акустические и рентгено-спектральные методы и средства измерений в науке и технике: сб. науч. тр. ВНИИФТРИ. — 2005. — С. 190–191.
6. Mazur M.M., Pozar V.E. Installation for gas filled test-tubes verification 1st // 1 Int. conf. «International and national aspects of ecological monitoring»: proc. May 25–28. St. Peterburg, 1997. — P. 133.
7. Аскеров Н.А. Испытания акустооптического спиртомера «ИКОНЭТ-М» // Вестник метролога. — 2020. — № 3. — С. 17–26.
8. Аскеров Н.А., Жогун В.Н., Магомедов З.А. Акустооптические спиртомеры // Измерительная техника. — 2009. — № 8. — С. 69–72.
9. Аскеров Н.А. Конструктивные и метрологические особенности акустооптических спиртомеров // Альманах современной метрологии. — 2021. — № 1 (25). — С. 116–130.
10. Аскеров Н.А. Способ градуировки акустооптических спиртомеров для измерения объёмной доли этилового спирта в многокомпонентных спиртосодержащих растворах и определения вклада ингредиентов в объёмную долю этилового спирта в многокомпонентных спиртосодержащих растворах // Альманах современной метрологии. — 2021. — № 3 (27). — С. 193–198.

Статья поступила в редакцию: 03.11.2021 г.

Статья прошла рецензирование: 14.01.2022 г.

Статья принята в работу: 21.01.2022 г.