■ ЭТАЛОНЫ / MEASUREMENT STANDARDS

DOI: 10.20915/2687-0886-2020-16-3-23-35

УДК 533.1:620.11:006.91:53.089.68

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПЕРВИЧНЫЙ ЭТАЛОН ЕДИНИЦ МОЛЯРНОЙ ДОЛИ, МАССОВОЙ ДОЛИ И МАССОВОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ КОМПОНЕНТОВ В ГАЗОВЫХ И ГАЗОКОНДЕНСАТНЫХ СРЕДАХ ГЭТ 154-2019

© А. В. Колобова, Л. А. Конопелько, О. Г. Попов

ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д. И. Менделеева»
(ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева»), г. Санкт-Петербург, Россия,
e-mail: fhi@b10.vniim.ru
ORCID: 0000-0001-6042-6933

Поступила в редакцию—22 августа 2020 г., после доработки—07 сентября 2020 г.

Принята к публикации—30 сентября 2020 г.

В статье представлена история формирования системы единиц газоаналитических измерений в РФ и итоги работ, проведенных в 2015–2019 гг. в рамках совершенствования Государственного первичного эталона единиц молярной доли, массовой доли и массовой концентрации компонентов в газовых и газоконденсатных средах ГЭТ 154-2016. Описано новое оборудование, включенное в состав ГЭТ 154-2016 по результатам выполнения работ и состав вновь утвержденного ГЭТ 154-2019. Приведена информация о международных ключевых сличениях.

Ключевые слова: эталон, молярная доля, газовые среды, газовые смеси**Ссылка при цитировании:**

Колобова А. В., Конопелько Л. А., Попов О. Г. Государственный первичный эталон единиц молярной доли, массовой доли и массовой концентрации компонентов в газовых и газоконденсатных средах ГЭТ 154-2019 // Эталоны. Стандартные образцы. 2020. Т. 16, № 3. С. 23–35. DOI: 10.20915/2687-0886-2020-16-3-23-35.

For citation:

Kolobova A. V., Konopelko L. A., Popov O. G. State primary standard of units of molar part, mass part and mass concentration of components in gas and gas condensate environs GET 154-2019. *Measurement standards. Reference materials*. 2019;16(3): 23–35. DOI: 10.20915/2687-0886-2020-16-3-23-35 (In Russ.).

STATE PRIMARY STANDARD OF UNITS OF MOLAR PART, MASS PART AND MASS CONCENTRATION OF COMPONENTS IN GAS AND GAS CONDENSATE ENVIRONS GET 154-2019

© Anna V. Kolobova, Leonid A. Konopelko, Oleg G. Popov

D. I. Mendeleyev Institute for Metrology (VNIIM), Sankt Petersburg, Russia
e-mail: fhi@b10.vniim.ru
ORCID: 0000-0001-6042-6933

Received—22 August, 2020. Revised—7 September, 2020.

Accepted for publication—30 September, 2020.

The history of formation of the system of units of gas analytic measurements in the Russian Federation and the results of works carried out in 2015–2019 within the framework of improvement of the State primary standard of units of molar fraction, mass fraction and mass concentration of components in gas and gas condensate environs GET 154-2016 are presented. The new equipment included in the GET 154-2016 based on the results of the work and the composition of the newly approved GET 154-2019 are described. Information on international key comparisons is given.

Keywords: standard, molar fraction, gas media, gas mixtures

Введение

Первый этап формирования системы единиц газоаналитических измерений в нашей стране был завершен вводом в действие в 1988 г. государственного первичного эталона единиц молярной доли и массовой концентрации компонентов в газовых средах ГЭТ 154–88 и государственной поверочной схемы для средств измерений содержания компонентов в газовых средах (МИ 2001–89) [1].

Начиная с 80-х и особенно с начала 90-х годов прошлого века парк газоаналитических приборов претерпевает значительные изменения по своему структурному и количественному составу. Объясняется это выходом на первый план проблемы безопасности жизнедеятельности общества. Газоаналитические измерения становятся социально-значимой областью измерений. Поэтому требования введенного в те годы в действие комплекса постановлений и законов РФ «Об обеспечении единства измерений», «Об охране окружающей среды», «О санитарно-гигиеническом благополучии населения», «О защите прав потребителей», «О декларации безопасности предприятий», «О стандартизации», «О сертификации продукции и услуг» остро поставили задачу повышения надежности и достоверности газоаналитической информации – важнейшего фактора в принятии управленческих решений,

вынесения штрафных, административных и уголовных санкций за экономический и экологический ущерб для РФ.

Действующая до этого времени система метрологического обеспечения во главе с ГЭТ 154–88 уже не удовлетворяла возросшему техническому уровню современных газоаналитических приборов по точности и номенклатуре газоаналитических задач.

Созданием и введением в действие государственного первичного эталона единиц молярной доли и массовой концентрации компонентов в газовых средах в 2001 г. – ГЭТ 154-2001 и государственной поверочной схемы для средств измерений содержания компонентов в газовых средах (ГОСТ 8.578–2002) был завершен второй этап развития системы метрологического обеспечения газоаналитических измерений в РФ.

Одновременно это время характеризуется становлением международной системы единства газоаналитических измерений. Основными этапами ее становления являлись создание Консультативного Комитета по количеству вещества при Международном бюро мер и весов (CCQM BIPM) в 1993 г., подписание в 1999 г. Российской Федерацией Договора о взаимном признании национальных эталонов и сертификатов калибровки и измерений, выдаваемых национальными метрологическими институтами.

В рамках ССQM начала действовать рабочая группа по газоаналитическим измерениям.

Одновременно с интенсивным развитием измерений по количеству вещества в ведущих странах мира, стала набирать темпы развития российская экономика, в том числе в таких областях, как металлургия, нефтехимия, энергетика, добыча и транспортировка углеводородов и др., где измерения в области количества вещества, и в частности, газоаналитические измерения, являются особо востребованными.

В связи с этим остро стали вопросы:

- о модернизации и развитии метрологической инфраструктуры в области газоаналитических измерений, адекватной задачам российской экономики в современных условиях;

- о соответствии российской и международной систем единства газоаналитических измерений;

- об активном участии РФ в формировании международной базы измерительных и калибровочных возможностей высшей точности.

Все это создало предпосылки для подготовки и осуществления третьего этапа развития национальной системы единства газоаналитических измерений, обеспечивающего развитие в РФ парка газоаналитических приборов с учетом современных тенденций. В результате в 2011 г. был утвержден усовершенствованный государственный первичный эталон единиц молярной доли и массовой концентрации компонентов в газовых средах с государственной поверочной схемой для средств измерений содержания компонентов в газовых средах (ГОСТ 8.578–2014) [2].

Одновременно в нефтегазовом комплексе РФ появился новый товарный продукт – нестабильный газовый конденсат. Газовые конденсаты – продукты газо- и нефтедобычи, представляющие собой сложные смеси жидких углеводородов (от пентанов и выше) и растворенных в них низкомолекулярных углеводородных и постоянных газов. Был спрогнозирован значительный рост объема добычи газового конденсата в РФ.

Для обеспечения прослеживаемости результатов измерений содержания нестабильного газового конденсата, а также получаемых из него продуктов – газа дегазации и стабильного газового конденсата, предполагалась разработка нового комплекса эталонных смесительных и аналитических установок с присвоением им статуса государственного первичного специального эталона. Такая работа была проделана в 2015–2016 гг. в рамках выполнения ОКР «Разработка государственного первичного специального эталона для воспроизведения и передачи единиц молярной и массовой доли

углеводородов C_1 – C_{40} , постоянных газов и кислородсодержащих органических соединений на основе использования специализированных эталонов сравнения, обеспечивающих фазовое равновесие в нестабильных и стабильных углеводородных средах».

Однако с учетом задач оптимизации эталонной базы РФ путем комплексирования существующих государственных первичных эталонов РФ специалистами межведомственной комиссии было предложено рассмотреть вариант включения разработанного комплекса эталонных установок в состав существующего на тот момент ГЭТ 154-2011. В результате в 2016 г. был утвержден Государственный первичный эталон единиц молярной доли, массовой доли и массовой концентрации компонентов в газовых и газоконденсатных средах ГЭТ 154-2016 и впервые была утверждена Государственная поверочная схема для средств измерений содержания компонентов в газовых и газоконденсатных средах в форме приказа Росстандарта (приказ от 14 декабря 2018 г. № 2664) (рис. 1).

Для обеспечения эксплуатации газоаналитических средств измерений на территории РФ, количество которых постоянно увеличивается и насчитывает уже более 1 500 000 единиц, ежегодно с помощью ГЭТ 154 осуществляется передача единиц содержания компонентов вторичным и рабочим эталонам, количество которых также постоянно растет и уже превышает 1500 единиц. Передача единиц содержания компонентов осуществляется в первую очередь с помощью эталонов сравнения состава газовых смесей в баллонах под давлением различной номенклатуры, до 1000 штук которых ежегодно изготавливается с помощью ГЭТ 154.

Количество обращений к ГЭТ 154 в части обеспечения прослеживаемости вторичных и рабочих эталонов, проведения испытаний средств измерений в целях утверждения типа, контроля качества измерений составляет около 3000 обращений в год. Это свидетельствует о постоянном высоком уровне заинтересованности в ГЭТ 154 со стороны организаций, осуществляющих газоаналитические измерения, проведение проверок и испытаний газоаналитических СИ, а также предприятий, сферой деятельности которых является разработка, производство и поставка соответствующих СИ и эталонов.

Востребованность ГЭТ 154 в таких областях промышленности, как химическая и нефтехимическая промышленность, машиностроение и металлообработка, топливная промышленность, энергетика и пр., а также в таких социально-значимых сферах, как здравоохранение, экология, обеспечение безопасности

в промышленности и жизнедеятельности, определяет необходимость постоянного проведения работ по:

- контролю технологических процессов: входному контролю сырья, промежуточному контролю технологических процессов, контролю товарной продукции;
- контролю качества углеводородного сырья и товарных продуктов нефтяной и газовой промышленности – природного газа, попутного нефтяного газа, сжиженных углеводородов;
- контролю газов при формировании особо чистых и реакционных сред при производстве наноматериалов и средств микроэлектроники;
- контролю взрывопожароопасных газов и паров;
- контролю вредных компонентов в воздухе рабочей зоны;
- контролю токсичных компонентов транспортных выбросов и выбросов промышленных предприятий;
- контролю загрязнения атмосферы парниковыми газами и фоновому контролю чистоты окружающего воздуха;

– контролю газов в выдыхаемом воздухе для диагностических целей в медицине, и в том числе паров этанола для обеспечения безопасности дорожного движения.

Единицы величин, воспроизводимые, хранимые и передаваемые эталоном, играют критическую роль для таких стратегических и приоритетных направлений развития Российской Федерации (согласно Указу Президента РФ от 07.07.2011 г. № 899 с изменениями от 16.12.2015 г. № 623), как безопасность и противодействие терроризму, наука о жизни, рациональное природопользование, энергоэффективность и энергосбережение.

Таким образом, государственный первичный эталон единиц молярной доли, массовой доли и массовой концентрации компонентов в газовых и газоконденсатных средах ГЭТ 154 уже много лет является одним из самых востребованных государственных первичных эталонов Российской Федерации.

Совершенствование эталона

Продолжающееся развитие российской экономики создало предпосылки к подготовке и осуществлению очередного этапа развития национальной системы единства газоаналитических измерений, обеспечивающего развитие в РФ новых типов газоаналитических приборов с учетом современных тенденций с перспективой до 2025 г.

Поэтому в течение 2015–2019 гг. были выполнены мероприятия по совершенствованию эталона, состоящие в следующем перечне работ.

1. Проведение работ по метрологическому обеспечению с целью обеспечения достоверности измерений:

- при контроле примесей в высокочистых газах, включая высокочистые инертные газы, используемых в микроэлектронной, ракетной, химической промышленности и других отраслях промышленности, в том числе в рамках политики импортозамещения;
- при контроле паров этанола в выдыхаемом воздухе водителем;
- при измерениях соотношения изотопов углерода-12 и углерода-13 при проведении фоновом мониторинга атмосферы газоанализаторами нового типа;
- при контроле взрывопожароопасных газов.

2. Обеспечение участия РФ в новых международных ключевых сличениях и создание основы для расширения калибровочных и измерительных возможностей РФ;

3. Реструктуризацию состава первичного эталона с учетом включения в его состав новых комплексов и установок, в том числе с учетом ранее проведенных работ по теме ОКР.

4. Повышение эффективности эталонных технологий, выполняемых на эталоне за счет внедрения информационной системы управления и анализа получаемых данных.

В результате при совершенствовании эталона были созданы, исследованы и включены в состав эталона новые комплексы и установки для:

- измерения молярной доли основных примесей O_2 , CO , CO_2 , CH_4 , N_2 , H_2 , Ar в высокочистых газах He , N_2 , Ar , O_2 ;
- измерения молярной доли, массовой доли и массовой концентрации этанола в водных растворах и газовых смесях;
- измерения молярной доли метанола в углеводородных газовых смесях;
- измерения молярной доли $^{12}CO_2$ и $^{13}CO_2$ и соотношения изотопов в газовых смесях и аттестации эталонов сравнения состава газовых смесей, содержащих $^{12}CO_2$ и $^{13}CO_2$ в баллонах под давлением;
- измерения массовой концентрации компонентов дозврывоопасных концентраций паров горючих и взрывоопасных жидкостей в диапазоне от 5 до 50 % нижнего концентрационного предела распространения пламени;
- верификации и аттестации эталонных газовых смесей на основе NO , NO_2 , SO_2 , H_2S , NH_3 , приготовленных гравиметрическим методом.

Новые комплексы и установки, включенные в состав эталона, представлены в табл. 1.

Впервые при совершенствовании эталона создана информационная система (ИС) обеспечения функционирования эталонных комплексов и установок

Рис. 1. Государственная поверочная схема для средств измерений содержания компонентов в газовых и газоконденсатных средах

Fig. 1. State verification chain of measuring instrument for component content in gas and gas-condensate environs

Таблица 1. Метрологические характеристики новых комплексов и установок, включенных в состав ГЭТ 154

Table 1. Metrological characteristics of new complexes and installations included into GET 154

Новые комплексы и установки в составе ГЭТ 154	Определяемые компоненты	Диапазон измерений молярной (массовой) доли (массовой концентрации)	Относительная стандартная неопределенность типа А, %	Относительная стандартная неопределенность типа В, %	Относительная расширенная неопределенность (при коэффициенте охвата $k=2$), %
Установка на базе электрохимических газоанализаторов «Delta F310-H0050M» и «Delta F-310E-S10000»	O ₂	$5,0 \cdot 10^{-7}$ –1,0 %	4,4–0,3	3,2–0,2	10–0,7
Установка на базе газового хроматографа «МАЭСТРО ГХ»	CO, CO ₂ , CH ₄	$5,0 \cdot 10^{-6}$ –0,010 %	2,0–0,4	1,8–0,3	5,5–1,0
Установка на базе газового хроматографа «ServoProCHROMA»	N ₂	$1,0 \cdot 10^{-5}$ – $1,0 \cdot 10^{-3}$ %	2,6–0,3	2,2–0,4	7–1,0
Установка на базе газового хроматографа «ServoProPLASMA»	N ₂	$1,0 \cdot 10^{-3}$ – $1,0 \cdot 10^{-2}$ %	0,6	0,5	1,5
Установка на базе газового хроматографа «Хроматэк-Кристалл 5000» с автосемплером и анализатора плотности жидкости DMA 5000M (чистый этанол, водные растворы этанола)	C ₂ H ₅ OH	Массовая доля (0,010–99,99) % Массовая концентрация (0,10–6,0) мг/см ³	0,20–3,0 · 10 ⁻³ 0,20–0,10	0,15–4,0 · 10 ⁻³ 0,15–0,11	0,5–0,010 0,5–0,3
Комплект очистителей Entegris в составе газосмесительной установки	Ar, H ₂ , O ₂ , CO, CO ₂ , CH ₄	$1,0 \cdot 10^{-7}$ – $5,0 \cdot 10^{-5}$ % ниже предела детектирования	4,4–0,8	3,2–0,6	10–2,0
Установка на базе газового хроматографа «Кристалл 5000.2» (метанол в углеводородных газовых смесях)	CH ₃ OH	0,001–0,05	1,8–0,6	1,7–0,8	5–2,0

Продолжение табл. 1
Table 1 continuation

Новые комплексы и установки в составе ГЭТ 154	Определяемые компоненты	Диапазон измерений молярной (массовой) доли (массовой концентрации)	Относительная стандартная неопределенность типа А, %	Относительная стандартная неопределенность типа В, %	Относительная расширенная неопределенность (при коэффициенте охвата $k=2$), %
Комплекс для измерения массовой концентрации горючих и взрывоопасных компонентов в газовых смесях	предельные углеводороды ряда C_5-C_{13} , ароматические углеводороды (бензол, толуол, стирол и др.), спирты (метанол, этанол и др.), кетоны и др.	массовая концентрация в пересчете на дозрывоопасную концентрацию $1,5 \cdot 10^3 - 2,0 \cdot 10^5 \text{ мг/м}^3$ (5–50 % НКПР)	0,55	0,50	1,5
Комплекс для измерения молярной доли $^{12}\text{CO}_2$ и $^{13}\text{CO}_2$ и соотношения изотопов в газовых смесях	$^{12}\text{CO}_2$ $^{13}\text{CO}_2$ $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$	0,010–99 % 0,00010–1,10 % минус 4–минус 55 ‰	0,05 0,05 0,10–1,2	0,98 0,48 0,17–2,2	2,0 1,0 0,4–5,0
Комплекс для измерения молярной доли и массовой концентрации этанола в газовых и парогазовых смесях	$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$	0,0020–0,10 %	0,24–0,09	0,18–0,08	0,6–0,24
Установка на базе газоанализаторов ОАС 3757 моделей 2, 6, 8	NO , NO_2 , NH_3 , H_2S , SO_2 ,	$1,0 \cdot 10^{-4}$ –5,0 %	0,4–0,10	0,3–0,07	1,0–0,2

первичного эталона, которая обеспечивает выполнение полного технологического цикла изготовления газовых смесей-эталонов сравнения: от обработки заявки на изготовление газовой смеси до формирования печатной формы протоколов измерений.

Кроме того, ИС предоставляет возможность проведения метрологического контроля функционирования всего эталонного комплекса: сличений измерительной аппаратуры, входящей в состав ГЭТ 154, контроля стабильности газовых смесей. Техническая архитектура ИС представлена на рис. 2.

В процессе совершенствования проведена реструктуризация состава первичного эталона. Новый состав эталона показан на рис. 3.

Метрологические характеристики усовершенствованного эталона приведены в табл. 2.

На международном уровне по своим характеристикам эталон ГЭТ 154 нового поколения как минимум сопоставим с аналогичными эталонами ведущих стран мира (табл. 3).

Таким образом, обеспечено участие РФ в новых международных ключевых сличениях и создана основа

Таблица 2. Метрологические характеристики Государственного первичного эталона единиц молярной доли, массовой доли и массовой концентрации компонентов в газовых и газоконденсатных средах ГЭТ 154-2019

Table 2. Metrological characteristics of State primary standard of units of molar fracture, mass fracture and mass concentration of components in gas and gas-condensate environs GET 154-2019

Наименование физической величины, диапазон измерений	Относительное СКО, %	Относительная неисключенная систематическая погрешность, %	Относительная стандартная неопределенность, %		Относительная расширенная неопределенность (при коэффициенте охвата $k=2$), %
			по типу А	по типу В	
Молярная доля компонентов в: – чистых газах и веществах, – газовых смесях, – газоконденсатных смесях; $1,5 \cdot 10^{-8}$ –99,99999 %	$2,4$ – $3,0 \cdot 10^{-7}$ при $n^*=10$	$4,4$ – $3,0 \cdot 10^{-6}$	$2,4$ – $3,0 \cdot 10^{-7}$	$2,3$ – $1,6 \cdot 10^{-6}$	$6,6$ – $3,3 \cdot 10^{-6}$
Массовая доля основного вещества в чистом этаноле и водных растворах этанола $0,010$ –99,99 %	$0,20$ – $3,0 \cdot 10^{-3}$ при $n=10$	$0,29$ – $7,6 \cdot 10^{-3}$	$0,20$ – $3,0 \cdot 10^{-3}$	$0,15$ – $4,0 \cdot 10^{-3}$	$0,5$ – $0,010$
Массовая концентрация компонентов в газовых смесях $1,0 \cdot 10^{-6}$ – $2,0 \cdot 10^5$ мг/м ³	$1,2$ – $0,27$ при $n=15$	$2,5$ – $0,57$	$1,2$ – $0,27$	$1,3$ – $0,30$	$3,5$ – $0,8$
Массовая концентрация этанола в водных растворах $0,10$ – $6,0$ мг/см ³	$0,20$ – $0,10$ при $n=10$	$0,29$ – $0,21$	$0,20$ – $0,10$	$0,15$ – $0,11$	$0,5$ – $0,3$

* n – число измерений

Таблица 3. Основные метрологические характеристики национальных эталонов в области газового анализа

Table 3. Main metrological characteristics of national standards in the field of gas analysis

Национальный метрологический центр/ Страна	Основные метрологические характеристики	
	Относительная расширенная неопределенность, %	Диапазон молярной доли, %
ВНИИМ им. Д. И. Менделеева/РФ	$6,6$ – $0,05$	$1,5 \cdot 10^{-8}$ –99,99999
NIST/США	10 – $0,2$	$1,0 \cdot 10^{-8}$ –99,99999
ВАМ/ФРГ	8 – $0,25$	$3,0 \cdot 10^{-7}$ –99,99999
NPL/Великобритания	10 – $0,04$	$1,0 \cdot 10^{-7}$ –99,99999

для расширения калибровочных и измерительных возможностей РФ.

С конца прошлого века эталоны ГЭТ 154 разного поколения регулярно участвуют в международных ключевых сличениях CCQM, общее число таких сличений к 2019 г. – 58. В табл. 4 приведен перечень сличений CCQM и других региональных метрологических организаций за последние 5 лет, в которых принимал участие ГЭТ 154.

Официальные результаты некоторых сличений приведены на рис. 4–6 [3–5].

По результатам ключевых сличений эталонов формируется международная база данных (KCDB) калибровочных и измерительных возможностей (СМС) стран в той или иной области измерений в виде отдельных строк. На сентябрь 2020 г. количество строк СМС в базе данных для измерений, реализуемых ГЭТ 154, составляет 471, что свидетельствует о том, что РФ в области газового анализа занимает одну из ведущих позиций в мире.

В стратегии развития работ CCQM BIPM до 2025 г. в области газового анализа планируются сличения по таким измерительным объектам, как парниковые

Таблица 4. Перечень международных сличений с участием ГЭТ 154 за последние 5 лет
Table 4. List of international comparisons with GET 154 usage for the last 5 years

Обозначение сличений	Наименование сличений
CCQM-K26.b.2019	SO ₂ в воздухе
CCQM-K150	Счетная концентрация частиц в воздухе
CCQM-K164	Качество водородного топлива
CCQM-K68.2019	Оксид азота (I) в воздухе на уровне окружающей среды
CCQM-K165	Диметилсульфид в азоте
CCQM-K90	Формальдегид в азоте
CCQM-K116	Пары воды в азоте
CCQM-K119	Сжиженный нефтяной газ
CCQM-K137	Оксид азота (II) в азоте
CCQM-K74.2018	Оксид азота (IV) в азоте
CCQM-K120	CO ₂ в воздухе на атмосферном уровне
CCQM-K171	CO в азоте
COOMET.QM-K120	CO ₂ в воздухе
COOMET.QM-S3.2015	CO в азоте
CCQM-K117	Аммиак в азоте
CCQM-K118	Природный газ
CCQM-K41.2017	H ₂ S в азоте, 10 ppm (повторное сличение)

Рис. 4. CCQM-K120a. CO₂ в воздухе на атмосферном уровне. Степени эквивалентности

Fig. 4. CCQM-K120a. CO₂ at background and urban level. Degrees of equivalency

Рис. 5. CCQM-K116. Пары воды в азоте. Степени эквивалентности

Fig. 5. CCQM-K116. Water vapour in nitrogen. Degrees of equivalency

Рис. 6. CCQM-K137 NO в азоте, 30–70 ppm. Степени эквивалентности

Fig. 6. CCQM-K137 NO in nitrogen, 30–70 ppm. Degrees of equivalency

газы, озон и химически активные газы на атмосферном уровне, природный газ, нефтезаводские газы, летучие органические компоненты в азоте и воздухе, судебно-медицинские газы, бинарные и многокомпонентные газовые смеси, соответствующие составу выбросов, чистые газы с анализом примесей, гравиметрические

газовые смеси; динамическое приготовление газовых смесей, медицинские газы. Характеристики усовершенствованного ГЭТ 154 последнего поколения позволяют продолжить практику активного участия ВНИИМ им. Д. И. Менделеева в сличениях по перечисленным выше измерительным объектам.

Выводы

1. Проведена работа по глубокой модернизации ГЭТ 154, с включением в его состав нового высокоточного измерительного оборудования, что позволило расширить его применение для обеспечения прослеживаемости результатов измерений для новых типов измерительных задач и улучшить метрологические характеристики.

2. По метрологическим характеристикам эталон ГЭТ 154 нового поколения сопоставим с характеристиками аналогичных эталонов ведущих стран мира.

3. Проведенная работа по совершенствованию эталона ГЭТ 154 позволяет успешно решать как приоритетные задачи анализа газов, сформулированные

международным метрологическим сообществом, так и актуальные измерительные задачи в отечественной практике газоаналитических измерений.

4. В 2020 г. проводится работа по переутверждению государственной поверочной схемы для ГЭТ 154-2019 с учетом результатов работ по его совершенствованию.

Вклад соавторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Конфликт интересов

Автор Конопелько Л. А. является членом редакционного совета журнала «Эталоны. Стандартные образцы».

ЛИТЕРАТУРА

1. МИ 2001–89 Рекомендации. ГСИ. Государственная поверочная схема для средств измерений содержания компонентов в газовых средах. М.: Издательство стандартов, 1990.
2. ГОСТ 8.578-2014 ГСИ. Государственная поверочная схема для средств измерений содержания компонентов в газовых средах. М.: Стандартинформ, 2019.
3. CCQM-K120 Carbon dioxide at background and urban level / E. Flores et al. // Metrologia. 2019. Vol. 56. No.1A. 08001. URL: <https://doi.org/10.1088/0026-1394/56/1A/08001>.
4. International comparison CCQM-K116: 10 µmol mol⁻¹ water vapour in nitrogen / P. J. Brewer et al. // Metrologia. 2018. Vol.55. no.1A. 08018. <https://doi.org/10.1088/0026-1394/55/1A/08018>.
5. CCQM-K137, nitrogen monoxide (NO) in nitrogen / J. Viallon et al. // Metrologia. 2020. Vol. 57, no.1A, 08001. <https://doi.org/10.1088/0026-1394/57/1A/08001>.

REFERENCE

1. MI 2001–89 Recommendations. GSE. State verification scheme for measuring instruments for the content of components in gas environs. Moscow, Izdatel'stvo standartov, 1990. (In Russ.).
2. GOST 8.578-2014 State verification scheme for measuring instruments for the content of components in gas environs. Moscow, Standartinform, 2019. (In Russ.).
3. Flores E. et al. CCQM-K120 Carbon dioxide at background and urban level. Metrologia. 2019;56(1A):08001. <http://doi.org/10.1088/0026-1394/56/1A/08001>.
4. Brewer P. J. et al. International comparison CCQM-K116: 10 µmol mol⁻¹ water vapour in nitrogen. Metrologia. 2018;55(1A):08018. DOI: 10.1088/0026-1394/55/1A/08018.
5. Viallon J. et al. CCQM-K137, nitrogen monoxide (NO) in nitrogen. Metrologia. 2020;57(1A):08001. <https://doi.org/10.1088/0026-1394/57/1A/08001>.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Колобова Анна Викторовна – канд. техн. наук, и. о. руководителя научно-исследовательского отдела государственных эталонов в области физико-химических измерений ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева».

Российская Федерация, г. Санкт-Петербург,

Московский пр., д. 19

e-mail: akol@b10.vniim.ru

ORCID: 0000-0001-6042-6933

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Anna V. Kolobova – PhD (Engineering), acting head of the Research Department of State Standards in the field of Physical and Chemical Measurements D. I. Mendeleyev Institute for Metrology (VNIIM).

19 Moskovsky ave., St. Petersburg, 190005, Russian Federation

e-mail: akol@b10.vniim.ru

ORCID: 0000-0001-6042-6933

Конопелько Леонид Алексеевич – доктор технических наук, профессор, кафедры «Теоретическая и прикладная метрология» ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева». Российская Федерация, г. Санкт-Петербург, Московский пр., д. 19
e-mail: fhi@b10.vniim.ru
ORCID: 0000-0002-4942-8329

Попов Олег Гаврилович – канд. хим. наук, старший научный сотрудник научно-исследовательского отдела государственных эталонов в области физико-химических измерений ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева» Российская Федерация, г. Санкт-Петербург, Московский пр., д. 19
e-mail: ogp@b10.vniim.ru
ORCID: 0000-0001-8098-8503

Leonid A. Konopelko – D. Sc. (Engineering), Professor, D. I. Mendeleyev Institute for Metrology (VNIIM). 19 Moskovsky ave., St. Petersburg, 190005, Russian Federation
e-mail: fhi@b10.vniim.ru
ORCID: 0000-0002-4942-8329

Oleg G. Popov – PhD (Chem.), Senior Scientist, Research Department of State Standards in the fields of Physical and Chemical Measurements D. I. Mendeleyev Institute for Metrology (VNIIM). 19 Moskovsky ave., St. Petersburg, 190005, Russian Federation
e-mail: ogp@b10.vniim.ru
ORCID: 0000-0001-8098-8503