

## СТАНДАРТНЫЕ ОБРАЗЦЫ

Научная статья

УДК 544.08

<https://doi.org/10.20915/2077-1177-2023-19-3-55-64>



# Особенности применения стандартных образцов – имитаторов для метрологического обеспечения газоаналитических средств измерений

А. В. Колобова  , Л. А. Конопелько, Т. Б. Соколов, О. В. Фатина

ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д. И. Менделеева»,  
г. Санкт-Петербург, Россия  
 [akol@b10.vniim.ru](mailto:akol@b10.vniim.ru)

**Аннотация:** Газоаналитические измерения, являясь одним из видов измерений физико-химического состава и свойств веществ, охватывают большой объем измерительных задач в различных сферах жизнедеятельности человека. Основными средствами поверки газоаналитических средств измерений являются рабочие эталоны 1-го и 2-го разряда: стандартные образцы состава газовых смесей в баллонах под давлением, меры – источники микропотоков газов и паров, генераторы газовых смесей.

Целью данного исследования являлось обобщение многолетнего опыта специалистов научно-исследовательского отдела государственных эталонов в области физико-химических измерений ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева» в части применения стандартных образцов – имитаторов для метрологического обеспечения газоаналитических средств измерений, выявление и анализ основных факторов, позволяющих применять имитаторы при испытаниях и поверке средств измерений.

В ходе исследования рассмотрены основные особенности применения стандартных образцов состава газовых смесей в баллонах под давлением в качестве имитаторов реальных сред при метрологическом обеспечении газоаналитических средств измерений, описаны основные различия имитаторов по их эквивалентности с реальной средой, разработаны подходы к оценке возможности применения имитаторов, изучены особенности проведения испытаний в целях утверждения типа и поверки средств измерений с применением имитаторов.

Практическая значимость проведенного исследования заключается в возможности использования результатов метрологами в решении практических задач, возникающих при испытаниях в целях утверждения типа, поверке и калибровке газоаналитических средств измерений.

**Ключевые слова:** газовые смеси, имитаторы, содержание компонентов, реальные среды, газоанализаторы, анализаторы паров этанола

**Используемые сокращения:** ФИФ ОЕИ – Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений; ГЭТ 154–2019 – Государственный первичный эталон единиц молярной доли, массовой доли и массовой концентрации компонентов в газовых и газоконденсатных средах; СИ – средство измерений; ГС – газовая смесь; ИП – измерительный преобразователь.

**Ссылка при цитировании:** Особенности применения стандартных образцов – имитаторов для метрологического обеспечения газоаналитических средств измерений / А. В. Колобова [и др.] // Эталоны. Стандартные образцы. 2023. Т. 19, № 3. С. 55–64. <https://doi.org/10.20915/2077-1177-2023-19-3-55-64>

Статья поступила в редакцию 14.11.2022; одобрена после рецензирования 23.03.2023; принята к публикации 25.04.2023.

## REFERENCE MATERIALS

Research Article

# Features of the Use of Reference Materials-imitators for Metrological Support of Gas Analytical Measuring Instruments

Anna V. Kolobova  , Leonid A. Konopelko, Timofei B. Sokolov, Olga V. Fatina

D. I. Mendeleev Institute for Metrology, St. Petersburg, Russia

 akol@b10.vniim.ru

**Abstract:** Gas analytical measurements are one of the types of measurements of the physical and chemical composition and properties of substances, and cover a large amount of measurement tasks in various areas of human activity. The main means of calibration of gas analytical measuring instruments are working standards of the 1<sup>st</sup> and 2<sup>nd</sup> category: reference materials for the composition of gas mixtures in pressure cylinders, measures – sources of microflows of gases and vapors, gas mixture generators.

The purpose of the research was to summarize the many years of experience of the specialists of the Research Department of State Standards in the field of Physical and Chemical Measurements, D. I. Mendeleev Institute for Metrology, in terms of the use of reference materials-imitators for metrological support of gas analytical measuring instruments, identification and analysis of the main factors that allow the use of imitators in testing and calibration of measuring instruments.

The research considered the main features of the use of reference materials for the composition of gas mixtures in pressure cylinders as imitators of real environments in the metrological support of gas analytical measuring instruments. The main differences between imitators in terms of their equivalence with a real environment were described. Approaches have been developed to assess the possibility of using imitators, the features of testing for the purpose of type approval and verification of measuring instruments using imitators.

The practical significance of the research is the possibility of using the research results by metrologists in solving practical problems that arise during tests for the purpose of type approval, and calibration of gas analytical measuring instruments.

**Keywords:** gas mixtures, imitators, content of components, real environment, gas analyzers, ethanol vapor analyzers

**Abbreviations used:** FIF EUM – Federal Information Fund for Ensuring the Uniformity of Measurements; GET 154–2019 – State Primary Standard of Units of Molar Part, Mass Part and Mass Concentration of Components in Gas and Gas Condensate Environs; MI – measuring instrument; GM – gas mixture; MT – measuring transducer.

**For citation:** Kolobova A. V., Konopelko L. A., Sokolov T. B., Fatina O. V. Features of the use of reference materials-imitators for metrological support of gas analytical measuring instruments. *Measurement Standards. Reference Materials*. 2023;19(3): 55–64. <https://doi.org/10.20915/2077-1177-2023-19-3-55-64>

The article was submitted 14.11.2022; approved after reviewing 23.03.2023; accepted for publication 25.04.2023.

### Введение

Газоаналитические измерения, являясь одним из видов измерений физико-химического состава и свойств веществ, охватывают большой объем измерительных задач в различных сферах жизнедеятельности человека [1], таких как:

– контроль загрязняющих веществ в атмосферном воздухе (экологический мониторинг),

– контроль вредных веществ в воздухе рабочей зоны,  
– контроль загрязняющих веществ в выбросах производственных объектов и автомобильной техники,  
– контроль взрывоопасных газов и паров в воздухе рабочей зоны,  
– контроль выбросов парниковых газов,  
– контроль содержания компонентов при технологических процессах,

- контроль состава углеводородного сырья и продуктов его переработки,

- контроль паров этанола в выдыхаемом воздухе человека и т. д.

В ФИФ ОЕИ<sup>1</sup> зарегистрировано более 5000 типов газоаналитических средств измерений, в том числе газоанализаторы, сигнализаторы, измерительные системы, хроматографы, масс-спектрометры и т. д.

Газоаналитические средства измерений (СИ) прослеживаются к ГЭТ 154–2019<sup>2</sup> [2].

Порядок передачи единиц содержания компонентов от ГЭТ 154–2019 газоаналитическим СИ с применением рабочих эталонов 1-го и 2-го разряда установлен в двух государственных поверочных схемах:

- государственная поверочная схема для средств измерений содержания компонентов в газовых и газоконденсатных средах, утвержденная приказом Росстандарта от 31.12.2020 № 2315;

- государственная поверочная схема для средств измерений содержания этанола в газовых средах, утвержденная приказом Росстандарта от 30.12.2019 № 3452.

Основными средствами поверки газоаналитических СИ являются рабочие эталоны 1-го и 2-го разряда [1–3]:

- стандартные образцы состава газовых смесей в баллонах под давлением,

- меры–источники микропотоков газов и паров, применяемые в комплекте с термодиффузионными генераторами газовых смесей,

- генераторы газовых смесей различных типов.

Одной из задач метрологического обеспечения газоаналитических СИ является определение метрологических характеристик средств измерений при поверке и техническом обслуживании с применением газовых смесей (ГС), соответствующих по своим характеристикам реальной анализируемой среде. Реальные анализируемые среды могут быть как «простыми» (бинарные и квазибинарные смеси, например, метан – воздух, кислород – азот и др.), так и «сложными».

В случае «простых» анализируемых сред в большинстве случаев есть возможность поверки и технического обслуживания газоаналитических СИ с применением ГС,

наиболее близко соответствующих реальным средам. В качестве примера можно привести газоанализаторы рудничного газа (метана), поверка и техническое обслуживание которых проводится по ГС метан – воздух.

Примерами «сложных» реальных сред могут быть:

- пары горючих жидкостей с низким давлением насыщенных паров определяемого компонента в смеси с воздухом (предельные углеводороды от C<sub>7</sub>H<sub>16</sub>, ароматические углеводороды и др.) и многокомпонентные смеси (пары нефти и нефтепродуктов и пр.);

- взрывоопасные газовые смеси (водород в кислороде и др.) или невзрывоопасные газовые смеси (водород в диоксиде углерода и др.), которые могут стать взрывоопасными при смешении с воздухом;

- газовые смеси, содержащие токсичные или ядовитые компоненты (фосфорорганические отравляющие вещества, компоненты ракетных топлив);

- газовые смеси в атмосферном воздухе (с содержанием влаги и неопределяемых компонентов – аргон, диоксид углерода и пр., соответствующим составу атмосферного воздуха);

- газовые смеси в промышленных выбросах (многокомпонентные газовые смеси с повышенной температурой и влажностью, наличием химически активных компонентов);

- выдыхаемый воздух с парами этанола (влажность (95±5) %, температура пробы порядка +34 °С, содержание углекислого газа около 5 %).

Очевидно, что создание таких «сложных» газовых сред для метрологического обеспечения газоаналитических средств измерений является задачей высокой сложности. В ряде случаев создание ГС, соответствующих по своим характеристикам реальным анализируемым средам, невозможно или имеет высокую стоимость и трудоемкость. Например, для создания в лабораторных условиях паровоздушных смесей паров горючих жидкостей разработаны и успешно применяются рабочие эталоны – динамические установки (ГПП-1<sup>3</sup>, ДГК-НВ<sup>4</sup> и др.), однако их эксплуатация требует определенного уровня квалификации обслуживающего персонала и в любом случае не решает проблему поверки

<sup>1</sup> ФИФ ОЕИ – Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений: официальный сайт. URL: <https://fgis.gost.ru>

<sup>2</sup> ГЭТ 154–2019 Государственный первичный эталон единиц молярной доли, массовой доли и массовой концентрации компонентов в газовых и газоконденсатных средах / институт-хранитель ВНИИМ им. Д. И. Менделеева // Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений : официальный сайт. 2019. URL: <https://fgis.gost.ru/fundmetrology/registry/12/items/1365155> (дата обращения: 28.07.2022).

<sup>3</sup> Рабочий эталон 1-го разряда комплекс ГПП-1, рег. номер в ФИФ ОЕИ 48775–11 // Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений [сайт]. URL: <https://fgis.gost.ru/fundmetrology/registry/4/items/360297> (дата обращения: 15.07.2022).

<sup>4</sup> Рабочий эталон 1-го разряда комплекс динамический газосмесительный ДГК-НВ, рег. номер в ФИФ ОЕИ 47882–11 // Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений [сайт]. URL: <https://fgis.gost.ru/fundmetrology/registry/4/items/359260> (дата обращения: 15.07.2022).

и технического обслуживания «в поле» большого объема эксплуатируемых газоаналитических СИ.

Для решения указанных ограничений был разработан подход по применению имитаторов реальных сред. Применение имитаторов реальных сред, например, стандартных образцов (СО) состава газовых смесей в баллонах под давлением, которые по своему составу или свойствам не в полной мере соответствуют реальной среде, но при этом позволяют передать единицу содержания компонентов с необходимой точностью, существенно упрощает поверку и техническое обслуживание СИ, а также значительно снижает затраты пользователя при эксплуатации СИ.

Цель данного исследования – выявление и анализ основных факторов, влияющих на метрологическое обеспечение газоаналитических средств измерений с учетом особенности проведения испытаний в целях утверждения типа и поверки средств измерений, на примере применения стандартных образцов – имитаторов.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи: провести теоретический анализ ГС – имитаторов, применяемых для метрологического обеспечения газоаналитических СИ; рассмотреть практические примеры статических характеристик СИ по реальной среде и имитатору; продемонстрировать алгоритмы расчета поправочных коэффициентов СИ и погрешности СИ при использовании имитаторов; сформулировать рекомендации по применению ГС – имитаторов для метрологического обеспечения газоаналитических средств измерений.

### Теоретический анализ

В качестве имитаторов, как правило, используют ГС в баллонах под давлением, широко распространенные в эксплуатации и отличающиеся высокой стабильностью, в том числе к условиям транспортировки и хранения. Наиболее часто в качестве имитаторов применяют газовые смеси метан – воздух, пропан – воздух (и эти же компоненты в азоте), изобутилен – воздух и др.

Возможность применения имитаторов обусловлена конструктивными и функциональными особенностями газоаналитических средств измерений. В общем виде функцию преобразования газоаналитического средства измерений можно записать в виде

$$P_{\text{вых}} = K \cdot C_{\text{вх}}, \quad (1)$$

где  $P_{\text{вых}}$  – выходной сигнал средства измерений (показание);

$C_{\text{вх}}$  – содержание анализируемого компонента на входе средства измерений;

$K$  – обобщенный коэффициент преобразования.

Функциональная схема газоаналитического СИ в общем виде может быть представлена совокупностью трех измерительных преобразователей (ИП) [4] так, как изображено на рис. 1.

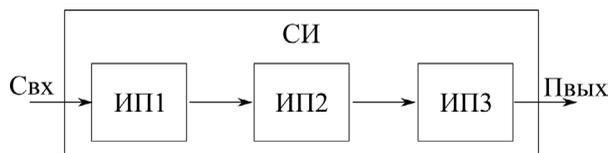


Рис. 1. Функциональная схема газоаналитического средства измерения

Fig. 1. The functional diagram of a gas analytical measuring instrument

Рассмотрим функциональную схему СИ подробнее на рис. 1, где приняты следующие обозначения:

$C_{\text{вх}}$  – входная величина (содержание определяемого компонента в анализируемой среде);

ИП1 – измерительный преобразователь «состав – состав», обеспечивающий масштабные преобразования анализируемой пробы (например, подготовка анализируемой среды – стабилизация температуры, расхода, очистка от механических примесей и т. п.). Фактически ИП1 является устройством отбора и подготовки пробы;

ИП2 – измерительный преобразователь «состав – свойство», обеспечивающий преобразование измеряемой величины (массовая концентрация, объемная доля и т. д.) в физико-химическое свойство чувствительного элемента (сопротивление, проводимость, емкость, электродвижущая сила и т. д.);

ИП3 – измерительный преобразователь «свойство – выходной сигнал», обеспечивающий преобразование физико-химического свойства чувствительного элемента в выходной сигнал (показания), доступный для восприятия оператора;

$P_{\text{вых}}$  – выходной сигнал СИ (показания на дисплее, выходной аналоговый или цифровой сигнал).

Таким образом, в соответствии со схемой, обобщенный коэффициент преобразования газоаналитического средства измерений функционально связан с коэффициентами преобразования отдельных блоков (измерительных преобразователей) средства измерений

$$K = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3, \quad (2)$$

где  $K_1, K_2, K_3$  – коэффициенты преобразования соответствующих блоков и модулей ИП1, ИП2, ИП3, входящих в состав СИ.

При этом коэффициенты преобразования  $K_1$  и  $K_3$  обычно являются характеристиками СИ, которые не меняются при изменении состава анализируемой среды.

Коэффициент преобразования  $K_2$  определяет переход от состава к свойству и, как правило, имеет специфичность по отношению к составу и определяет избирательность (селективность) СИ.

ГС – имитатор, как правило, представляет собой ГС, которую можно охарактеризовать как эквивалентную по одному из критериев:

- заменен основной компонент, т. е. вместо определяемого компонента в реальной среде в имитаторе используется эквивалент – поверочный компонент, обладающий схожими физико-химическими свойствами;

- заменен фоновый компонент, характеризующий реальную среду, на эквивалент (например, газовая смесь водород – кислород заменяется газовой смесью водород – азот);

- характеристики имитатора не в полной мере соответствуют реальной среде (например, по содержанию влаги, температуре, наличию неизмеряемых компонентов).

При использовании ГС – имитаторов необходимо обеспечить выполнение неравенства

$$f(\delta_1, \delta_2, \delta_3) \leq \frac{\delta_{СИ}}{K_{зт}}, \quad (3)$$

где  $\delta_1$  – погрешность содержания анализируемого компонента в реальной среде;

$\delta_2$  – погрешность ГС – имитатора;

$\delta_3$  – погрешность установленного коэффициента соответствия содержания анализируемого компонента (реальная среда) и имитатора;

$\delta_{СИ}$  – погрешность СИ;

$K_{зт}$  – запас по точности, как правило, от 2 до 3.

С учетом изложенного выше разработаны подходы к оценке практической возможности применения ГС – имитаторов для поверки и обслуживания газоаналитических средств измерений:

- выбор имитатора исходя из принципа действия и конструкции СИ;

- экспериментальные исследования по определению коэффициента пересчета (или функции пересчета) в диапазоне измерений с применением газовых смесей, соответствующих характеристикам реальной среды, и ГС – имитаторов (с учетом сведений от изготовителя средств измерений);

- экспериментальные исследования разброса коэффициента пересчета внутри партии СИ одного типа;

- экспериментальные исследования стабильности коэффициента пересчета;

- установление особых требований к выполнению измерений и обработке результатов измерений при применении имитатора;

- оценка погрешности метода поверки с учетом погрешности имитатора и коэффициента пересчета.

### Математические подходы

Возможность применения ГС – имитаторов, как правило, оценивается на этапе разработки и/или на этапе проведения испытаний в целях утверждения типа средств измерений. В ряде случаев целесообразно проведение предварительных исследований метрологических характеристик средств измерений для выбора имитаторов.

С 2000 г. сотрудниками научно-исследовательского отдела государственных эталонов в области физико-химических измерений ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева» проведен ряд работ по исследованиям и испытаниям нескольких десятков типов средств измерений, при поверке и техническом обслуживании которых применяются имитаторы – стандартные образцы состава газовых смесей в баллонах под давлением.

В качестве примера рассмотрим некоторые типы таких средств измерений и результаты экспериментальных исследований по выбору имитаторов для отдельных измерительных каналов.

#### Пример 1

Датчики-газоанализаторы ДАФ-М<sup>5</sup>, предназначенные для непрерывных автоматических измерений массовой концентрации углеводородов, в том числе нефти и нефтепродуктов в воздухе. Принцип измерений – фотоионизационный. Реальная среда для исследованного образца – ацетон в воздухе, имитатор – гексан в воздухе. Общий вид статических характеристик СИ по реальной среде и имитатору приведен на рис. 2. Здесь и далее на рисунках статических характеристик СИ приняты обозначения:

$C_{вх}$  – содержание компонента в анализируемой среде на входе СИ, в единицах измеряемой величины;

$C_{изм}$  – результат измерения содержания компонента в анализируемой среде, в единицах измеряемой величины.

#### Пример 2

Газоанализаторы ОГС-ПГП/М-С<sub>3</sub>H<sub>8</sub>-А<sup>6</sup>, предназначенные для непрерывного автоматического измерения

<sup>5</sup> Датчики-газоанализаторы ДАФ-М, изготовитель ФГУП СПО «Аналитприбор», г. Смоленск // Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений [сайт]. URL: <https://fgis.gost.ru/fundmetrology/registry/4/items/530080> (дата обращения: 15.07.2022).

<sup>6</sup> Газоанализаторы ОГС-ПГП/М-С<sub>3</sub>H<sub>8</sub>-А, изготовитель ООО «Пожгазприбор», г. Санкт-Петербург // Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений [сайт]. URL: <https://fgis.gost.ru/fundmetrology/registry/4/items/536997> (дата обращения: 15.07.2022).

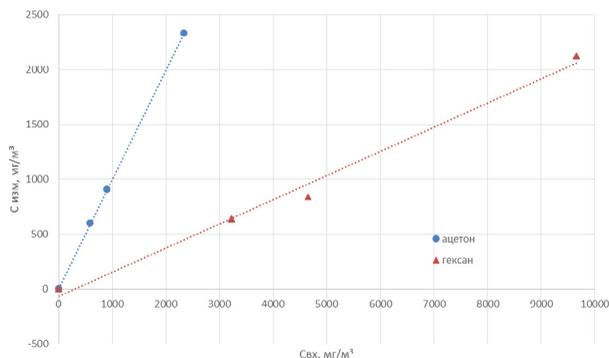


Рис. 2. Общий вид статических характеристик средств измерений по реальной среде и имитатору для датчика-газоанализатора ДАФ-М

Fig. 2. The general view of the static characteristics of measuring instruments based on the real environment, and the imitator for the gas analyzer sensor DAF-M

довзрывоопасных концентраций или объемной доли горючих газов и паров горючих жидкостей в окружающей атмосфере. Принцип измерений – оптический инфракрасный абсорбционный. Реальная среда для исследованного образца СИ – пары дизельного топлива, имитатор – пропан в воздухе. Общий вид статических характеристик СИ по реальной среде и имитатору приведен на рис. 3.

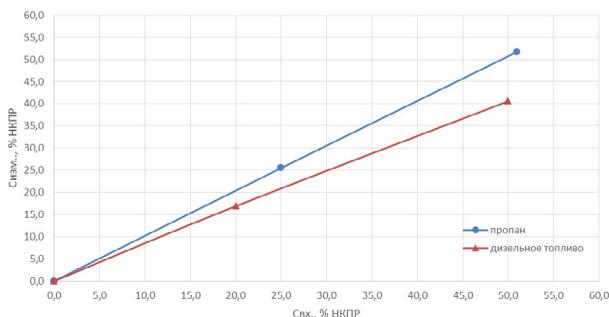


Рис. 3. Общий вид статических характеристик средств измерений по реальной среде и имитатору для газоанализатора ОГС-ПГП/М-С<sub>3</sub>N<sub>8</sub>-А

Fig. 3. The general view of the static characteristics of measuring instruments based on the real environment and the imitator for the gas analyzer OGS-PGP/M-S<sub>3</sub>N<sub>8</sub>-A

### Пример 3

Газоанализаторы ТП1142<sup>7</sup>, предназначенные для измерений и сигнализации о превышении установленных пределов объемной доли водорода в газовых средах

<sup>7</sup> Газоанализаторы ТП1142, изготовитель ЗАО Фирма «АНАГАЗ», г. Санкт-Петербург // Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений [сайт] URL: <https://fgis.gost.ru/fundmetrology/registry/4/items/1388854> (дата обращения: 15.07.2022).

технологических магистралей специальных установок. Принцип измерений – термокондуктометрический. Реальная среда – водород в кислороде, имитатор – водород в азоте. Общий вид статических характеристик СИ по реальной среде и имитатору приведен на рис. 4.

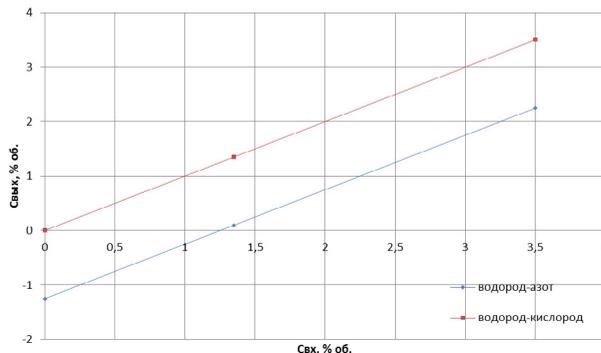


Рис. 4. Общий вид статических характеристик средств измерений по реальной среде и имитатору для газоанализатора ТП1142

Fig. 4. The general view of the static characteristics of measuring instruments based on the real environment and the imitator for the gas analyzer TP1142

### Пример 4

Анализаторы паров этанола в выдыхаемом воздухе Alcotest 6820<sup>8</sup>, предназначенные для экспрессных измерений массовой концентрации паров этанола в отобранной пробе выдыхаемого воздуха. Принцип измерений – электрохимический. Реальная среда – этанол в выдыхаемом воздухе (влажность (95±5) %, температура пробы +34 °С), имитатор – этанол в азоте (влажность около 0 %, температура пробы +20 °С). Общий вид статических характеристик СИ по реальной среде и имитатору приведен на рис. 5.

Значения поправочных коэффициентов для датчиков ДАФ-М и газоанализаторов ОГС-ПГП (примеры 1 и 2) по результатам экспериментальных исследований могут быть рассчитаны по формуле:

$$K_i = \frac{C_i^{(пов.)}}{C_i^{(пов.)}} \cdot \frac{C_i^{(опр.)}}{C_i^{(опр.)}}, \quad (4)$$

где  $C_i^{(пов.)}$  – результат измерений содержания поверочного компонента при подаче  $i$ -й ГС, содержащей поверочный компонент (по шкале определяемого компонента);

<sup>8</sup> Анализаторы паров этанола в выдыхаемом воздухе Alcotest 6820, изготовитель Dräger Safety AG & Co. KGaA, Германия // Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений [сайт]. URL: <https://fgis.gost.ru/fundmetrology/registry/4/items/381645> (дата обращения: 15.07.2022).

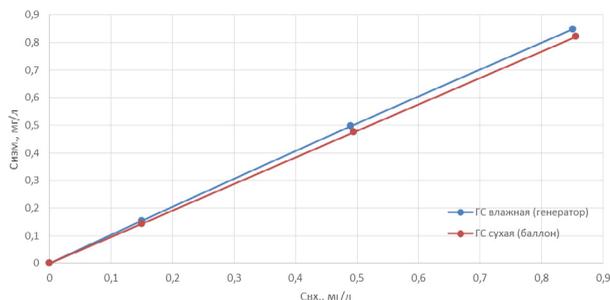


Рис. 5. Общий вид статических характеристик средств измерений по реальной среде и имитатору для анализатора паров этанола в выдыхаемом воздухе Alcotest 6820

Fig. 5. The general view of the static characteristics of measuring instruments based on the real environment and the imitator for the ethanol vapor analyzers for exhaled air Alcotest 6820

$C_i^{д(пов.)}$  – действительное значение содержания поверочного компонента в  $i$ -й ГС, содержащей поверочный компонент;

$C_i^{с(опр.)}$  – результат измерений содержания при подаче  $i$ -ой ГС, содержащей определяемый компонент;

$C_i^{д(опр.)}$  – действительное значение содержания определяемого компонента в  $i$ -й ГС.

Значение абсолютной погрешности средства измерений при использовании имитаторов в общем случае рассчитывается по формуле

$$\Delta = C_i^{с(пов.)} - K_i \cdot C_i^{д(пов.)}, \quad (5)$$

где  $C_i^{с(пов.)}$  – результат измерений содержания поверочного компонента при подаче  $i$ -й ГС, содержащей поверочный компонент (по шкале определяемого компонента);

$C_i^{д(пов.)}$  – действительное значение содержания поверочного компонента в  $i$ -й ГС, содержащей поверочный компонент;

$K_i$  – значение поправочного коэффициента для  $i$ -й точки поверки.

Результат измерений объемной доли водорода в кислороде для газоанализатора ТП1142 (пример 3) по измеренному значению выходного сигнала (напряжение постоянного тока от 0 до 10 В) в случае применения газовых смесей – имитаторов состава водород в азоте рассчитывают по формуле:

$$C = K \cdot U_{вых} + \Delta_{N_2}, \quad (6)$$

где  $U_{вых}$  – значение выходного сигнала по напряжению при подаче ГС водород в азоте, В;

$K$  – коэффициент преобразования, равный 0,4%/В;

$\Delta_{N_2}$  – поправка, обусловленная заменой ГС состава водород – кислород на ГС состава водород – азот, объемная доля водорода, % ( $\Delta_{N_2} = 1,25\%$ ).

Значение основной абсолютной погрешности измерений объемной доли водорода рассчитывают по формуле:

$$\Delta C = C - C_{ПГС}, \quad (7)$$

где  $C_{ПГС}$  – объемная доля водорода, указанная в паспорте на ГС, %;

$C$  – объемная доля водорода, рассчитанная по выходному сигналу с учетом поправки, %.

Результат измерений массовой концентрации этанола для анализатора Alcotest 6820 (пример 4) при подаче ГС в баллоне под давлением  $C_i$ , мг/л рассчитывают по формуле

$$C_i = \Pi_i \cdot \frac{101,3}{P} \cdot K^{ГС}, \quad (8)$$

где  $\Pi_i$  – показание анализатора при подаче  $i$ -й ГС в баллоне под давлением, мг/л;

$K^{ГС}$  – коэффициент пересчета показаний,  $K^{ГС} = 1,05$ ;

$P$  – атмосферное давление, измеренное с помощью барометра, кПа.

Значение абсолютной погрешности анализатора  $\Delta_i$ , мг/л, при подаче  $i$ -й ГС рассчитывают по формуле

$$\Delta_i = C_i - C_i^{\delta}, \quad (9)$$

где  $C_i$  – измеренное значение массовой концентрации этанола при подаче  $i$ -й ГС, мг/л;

$C_i^{\delta}$  – действительное значение массовой концентрации этанола в  $i$ -й ГС в баллоне под давлением, мг/л.

Значение относительной погрешности анализатора  $\delta_i$ , %, при подаче  $i$ -й ГС рассчитывают по формуле

$$\delta_i = \frac{C_i - C_i^{\delta}}{C_i^{\delta}} \cdot 100. \quad (10)$$

Действительное значение массовой концентрации этанола в  $i$ -й ГС в баллоне под давлением  $C_i^{\delta}$ , мг/л, рассчитывают по формуле

$$C_i^{\delta} = C_i^{\delta}(\%) \cdot k \cdot 10, \quad (11)$$

где  $C_i^{\delta}(\%)$  – действительное значение объемной доли этанола в  $i$ -ой ГС в баллоне под давлением, %;

$k$  – коэффициент пересчета для условий +34 °С и 101,3 кПа,  $k = 1,828$ .

В некоторых случаях результат измерений содержания определяемого компонента рассчитывают с применением комбинации рассмотренных выше способов – например, для преобразователей измерительных

акусторезонансных АРП1.0<sup>9</sup>, выпускаемых ООО НПФ «ИНКРАМ», г. Москва, при расчете используют и коэффициент пересчета, и поправку [5].

### Результаты и обсуждение

Приведенные выше примеры показывают, что задача применения ГС – имитаторов успешно решается для ряда типов СИ, отличающихся принципом измерений, назначением и конструкцией, путем введения коэффициентов пересчета и поправок, определенных в результате исследований или испытаний СИ.

Особым случаем применения ГС – имитаторов является такая ситуация, когда по результатам исследований устанавливается, что при применении газовых смесей – имитаторов использование коэффициента пересчета не требуется в связи с тождественностью показаний средств измерений при анализе реальной среды и имитатора. Например, автоматические газосигнализаторы стационарные для обнаружения фосфорорганических отравляющих веществ АГФ-2<sup>10</sup>, основанные на масс-спектрометрическом принципе действия.

При этом следует отметить, что для установления тождественности показаний средств измерений при анализе реальной среды и имитатора требуется выполнить практически такой же объем экспериментальных исследований, как и при установлении коэффициента пересчета.

В особых случаях устанавливается, что применение ГС – имитаторов невозможно, например, в связи со значительным разбросом коэффициента внутри партии средств измерений или его нестабильностью во времени. Как правило, такой результат характерен для средств измерений, основанных на полупроводниковом или термохимическом принципах измерений.

Использование метода имитаторов требует тщательной разработки программы исследований (испытаний), получения большого массива экспериментальных данных, обработки результатов измерений, разработки специфических методик поверки.

<sup>9</sup> Преобразователи измерительные акусторезонансные АРП1.0, изготовитель ООО НПФ «ИНКРАМ», г. Москва // Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений [сайт]. URL: <https://fgis.gost.ru/fundmetrology/registry/4/items/367156> (дата обращения: 15.07.2022).

<sup>10</sup> Автоматические газосигнализаторы стационарные для обнаружения фосфорорганических отравляющих веществ АГФ-2, ОАО НПО «Прибор», г. С. Петербург // Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений [сайт]. URL: <https://fgis.gost.ru/fundmetrology/registry/4/items/1389113> (дата обращения: 15.07.2022).

Кроме того, при проведении исследований необходимо дополнительно учитывать следующее:

- погрешность метода поверки с применением имитаторов должна обеспечивать требуемый запас по точности;

- в ряде случаев имеются особые требования к применению имитаторов, например, при проведении испытаний алкометров необходимо разделять по времени сессии исследований на сухих и влажных смесях и т. п.

Применение ГС – имитаторов предусмотрено рядом национальных и межгосударственных стандартов, например, ГОСТ Р 8.838-2013, ГОСТ Р 8.922-2016, ГОСТ 8.618-2013, ГОСТ 8.629-2013, ГОСТ Р 52350.29.1–2010.

### Заключение

В ходе исследований показана актуальность решения задачи применения ГС – имитаторов для метрологического обеспечения газоаналитических средств измерений; проведен теоретический анализ ГС – имитаторов, определены основные этапы исследований по выбору ГС – имитаторов, рассмотрены практические примеры статических характеристик СИ по реальной среде и имитатору; продемонстрированы алгоритмы расчета поправочных коэффициентов СИ и погрешности СИ при использовании имитаторов. На основании результатов исследования выработаны подходы к выбору и применению ГС – имитаторов при проведении испытаний в целях утверждения типа СИ и последующей их поверки.

**Вклад соавторов:** Колобова А. В. – постановка задачи и разработка концепции исследований, разработка методологии / методики, анализ результатов исследований, внедрение методологии, оформление тезисов, проверка и редакция текста статьи; Конопелько Л. А. – постановка задачи и разработка концепции исследований, анализ результатов исследовательских работ, разработка методических подходов по внедрению методологии применения имитаторов в газоаналитических измерениях, проверка и редакция текста статьи; Соколов Т. Б. – проведение исследовательских работ по применению имитаторов для газоаналитических средств измерений, обработка и анализ результатов исследовательских работ, внедрение методологии, написание чернового варианта статьи, подготовка/создание визуальных материалов; Фатина О. В. – проведение исследовательских работ по применению имитаторов для газоаналитических средств измерений, обработка и анализ результатов исследовательских работ, внедрение методологии, проверка и редакция текста статьи.

**Contribution of the authors:** Kolobova A. V. – setting the task and developing the concept of research, developing a methodology / method, analyzing research results, implementing the methodology, preparing abstracts, checking and editing the text of the article; Konopelko L. A. – setting the task and developing the concept of research, analyzing the results of research work, developing methodological approaches for implementing the methodology for using equivalents in gas analytical measurements, checking and editing the text of the article; Sokolov T. B. – carrying out research work on the use of equivalents for gas analytical measuring instruments, processing and analyzing the results of research work, implementing the methodology, writing a draft version of the article, preparing / creating visual materials; Fatina O. V. – carrying out research work on the use of equivalents for gas analytical measuring instruments, processing and analyzing the results of research work, implementing the methodology, checking and editing the text of the article.

**Конфликт интересов:** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Материал статьи подготовлен на основе доклада, представленного на V Международной научной конференции «Стандартные образцы в измерениях и технологиях» (Екатеринбург, 13–16 сентября 2022 г.). Переводная версия статьи на английском языке планируется к публикации в книге Sobina E. et al. (eds.). *Reference Materials in Measurement and Technology. RMMT 2022. Switzerland: Springer, Cham.*

**Conflict of interest:** The authors declare no conflict of interest. The material of the article was prepared on the basis of the report presented at the V International Scientific Conference «Reference Materials in Measurement and Technology» (Yekaterinburg, September 13–16, 2022). A translated version of the article in English is planned for publication in the book Sobina E. et al. (eds.). *Reference Materials in Measurement and Technology. RMMT 2022. Switzerland: Springer, Cham.*

#### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Современная метрология физико-химических измерений: под общей редакцией А. Н. Пронина. СПб.: ООО Издательство ТРИУМФ, 2022. 561 с.
2. 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. <https://doi.org/10.20915/2687-0886-2020-16-3-23-35>
3. Колобова А. В. Развитие эталонной базы и средств метрологического обеспечения газоаналитических измерений в Российской Федерации // Измерительная техника. 2022. № 7. С. 36–42. <https://doi.org/10.32446/0368-1025it.2022-7-36-42>
4. Фридман А. Э. Основы метрологии. Современный курс. СПб.: НПО Професионал, 2008. 279 с.
5. Контроль дозврывоопасных концентраций газов и паров с помощью акустического детектора / А. А. Михайлов [и др.] // Химическая безопасность. 2018. Т. 2, № 2. С. 139–150. <https://doi.org/10.25514/CHS.2018.2.14111>

#### REFERENCES

1. Pronin A. N. (ed.). *Modern metrology of physical and chemical measurements*. St. Petersburg: OOO TRIUMPH; 2022. 561 p. (In Russ.).
2. 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*. 2020;16(3):23–35. (In Russ.). <https://doi.org/10.20915/2687-0886-2020-16-3-23-35>
3. Kolobova A. V. Development of the reference base and means of metrological assurance of gas analytical measurements in the Russian Federation. *Measurement Techniques*. 2022;7:36–42. (In Russ.). <https://doi.org/10.32446/0368-1025it.2022-7-36-42>
4. Fridman A. E. *Fundamentals of metrology. Modern course*. St. Petersburg: NPO Professional; 2008. 284 p. (In Russ.).
5. Mikhailov A. A., Etrekova M. O., Storozhenko A. S., Bukharov D. G., Sokolov T. B., Parshikov Yu. G. Checking out pre-explosive concentrations of combustible gases and vapors by means of acoustic detector. *Chemical Safety Science*. 2018;2(2):139–150. <https://doi.org/10.25514/CHS.2018.2.14111>

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

ГОСТ Р 8.838–2013 Государственная система обеспечения единства измерений. Анализаторы паров этанола. Методика поверки = State system for ensuring the uniformity of measurements. Ethanol content analyzers. Verification procedure. М.: Стандартинформ, 2019. 22 с.

ГОСТ Р 8.922–2016 Государственная система обеспечения единства измерений. Газоанализаторы и сигнализаторы дозврывоопасных концентраций паров горючих жидкостей. Методы испытаний = State system for ensuring the uniformity of measurements. Gas analyzers and gas alarm devices for determination of combustible gases and vapors in working zone air. Test methods. М.: Стандартинформ, 2019. 18 с.

ГОСТ 8.618–2013 Государственная система обеспечения единства измерений. Газоанализаторы и сигнализаторы горючих газов и паров горючих жидкостей в воздухе рабочей зоны. Методика поверки = State system for ensuring the uniformity of measurements.

Gas analyzers and gas alarm devices for determination of combustible gases and vapors in working zone air. Verification procedure. М.: Стандартинформ, 2019. 22 с.

ГОСТ 8.629-2013 Государственная система обеспечения единства измерений. Средства поверки стационарные и мобильные для газоанализаторов и сигнализаторов горючих газов и паров горючих жидкостей. Общие технические требования = State system for ensuring the uniformity of measurements. Stationary and mobile verification means for combustible gases and vapors gas analyzers and gas alarm devices. General technical requirements. М.: Стандартинформ, 2019. 10 с.

ГОСТ Р 52350.29.1-2010 (МЭК 60079-29-1:2007) Взрывоопасные среды. Часть 29-1. Газоанализаторы. Общие технические требования и методы испытаний газоанализаторов горючих газов = Explosive atmospheres. Part 29-1. Gas detectors. General technical requirements and test methods of detectors for flammable gases. М.: Стандартинформ, 2011. 40 с.

Об утверждении Государственной поверочной схемы для средств измерений содержания компонентов в газовых и газоконденсатных средах : Приказ Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 31.12.2020 № 2315 // Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии : официальный сайт. 2020.

URL: <https://www.gost.ru/portal/gost/home/activity/documents/orders#/order/217676> (дата обращения: 28.07.2022)

Об утверждении Государственной поверочной схемы для средств измерений содержания этанола в газовых средах : Приказ Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 30 декабря 2019 года № 3452 // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов : официальный сайт. 2020. URL: <https://docs.cntd.ru/document/564647868> (дата обращения: 28.07.2022).

Утвержденные типы средств измерений // Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений : официальный сайт. URL: <https://fgis.gost.ru/fundmetrology/registry/4> (дата обращения: 08.11.2022)

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

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

Россия, 190005, г. Санкт-Петербург,

Московский проспект, д. 19

e-mail: [akol@b10.vniim.ru](mailto:akol@b10.vniim.ru)

<https://orcid.org/0000-0001-6042-6933>

**Конопелько Леонид Алексеевич** – д-р техн. наук, профессор кафедры «Теоретическая и прикладная метрология» ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева»

Россия, 190005, г. Санкт-Петербург,

Московский проспект, д. 19

E-mail: [lkonop2@gmail.com](mailto:lkonop2@gmail.com)

**Соколов Тимофей Борисович** – руководитель лаборатории разработки методов испытаний и средств поверки приборов в области физико-химических измерений ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева»

Россия, 190005, г. Санкт-Петербург,

Московский проспект, д. 19

E-mail: [treasure@b10.vniim.ru](mailto:treasure@b10.vniim.ru)

**Фатина Ольга Владимировна** – ведущий инженер научно-исследовательского отдела государственных эталонов в области физико-химических измерений ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева»

Россия, 190005, г. Санкт-Петербург,

Московский проспект, д. 19

E-mail: [fatina@b10.vniim.ru](mailto:fatina@b10.vniim.ru)

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Anna V. Kolobova** – Cand. Sci. (Eng.), Deputy Head of the Research Department of State Standards in the field of Physical and Chemical Measurements, D. I. Mendeleev Institute for Metrology

19 Moskovsky ave.,

St. Petersburg, 190005, Russia

e-mail: [akol@b10.vniim.ru](mailto:akol@b10.vniim.ru)

<https://orcid.org/0000-0001-6042-6933>

**Leonid A. Konopelko** – Dr. Sci. (Eng.), Professor of the Department of Theoretical and Applied Metrology, D. I. Mendeleev Institute for Metrology

19 Moskovsky ave.,

St. Petersburg, 190005, Russia

e-mail: [lkonop2@gmail.com](mailto:lkonop2@gmail.com)

**Timofei B. Sokolov** – Head of the Laboratory for the Development of Test Methods and Means for Calibration of Instruments in the field of Physical and Chemical Measurements, D. I. Mendeleev Institute for Metrology

19 Moskovsky ave.,

St. Petersburg, 190005, Russia

E-mail: [treasure@b10.vniim.ru](mailto:treasure@b10.vniim.ru)

**Olga V. Fatina** – Leading Engineer of the Research Department of State Standards in the field of Physical and Chemical Measurements, D. I. Mendeleev Institute for Metrology

19 Moskovsky ave.,

St. Petersburg, 190005, Russia

e-mail: [fatina@b10.vniim.ru](mailto:fatina@b10.vniim.ru)