

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА ВЕЩЕСТВ И МАТЕРИАЛОВ

Обзорная статья

УДК 006.91:543.06:53.089.68

<https://doi.org/10.20915/2077-1177-2025-21-2-114-122>



Комплексный подход как особенность обеспечения качества измерений содержаний металлов в воздушных средах

О. Б. Пономарева ✉, Ю. В. Канаева, М. В. Гайко

Уральский научно-исследовательский институт метрологии –
филиал ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева», г. Екатеринбург, Россия
✉ ponomareva@uniim.ru

Аннотация: Определение состава воздушных сред (воздуха рабочей зоны, атмосферного воздуха, промышленных выбросов в атмосферу) важно для экологической безопасности. Измерение показателей их состава в автоматическом режиме – приоритетное направление в деятельности предприятий. Однако измерение содержания металлов в автоматическом режиме в настоящее время – задача сложная, трудоемкая и дорогостоящая. Первым шагом для устранения этих недостатков может стать анализ возможностей, которыми обладают доступные методики измерений и стандартные образцы.

Авторы обзора описали комплексный подход к обеспечению качества и достоверности результатов измерений содержания металлов в воздушных средах, реализованный с применением методик и стандартных образцов, разработанных в УНИИМ – филиале ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева».

В качестве библиографической основы взяты нормативные документы в сфере контроля за состоянием воздушных сред, в частности – Постановление Правительства РФ № 1847, ГОСТ Р 8.960-2019, ГОСТ Р 70803–2023, ГОСТ 12.1.005–88 и другие (в общей сложности – 27 источников). Проанализирован массив методических рекомендаций в данной сфере, например – ПНД Ф 12.1.1–99, МУ № 4574–88 и другие. Отдельно рассмотрены методики измерений содержаний металлов в воздушных средах, разработанные УНИИМ на основе наиболее доступных большинству лабораторий методов измерений – фотометрического, титриметрического.

Статья дает наглядное представление о комплексном подходе к обеспечению качества измерений содержаний металлов в воздушных средах. Обзор структурирован как совокупность элементов: разработки методик измерения и их аттестации, разработки стандартных образцов для аттестации методик измерения и контроля качества результатов этих измерений, проведения испытаний в целях утверждения типов стандартных образцов, проведения межлабораторных сличительных испытаний для контроля качества процедур отбора проб и контроля качества результатов измерений содержаний металлов в воздушных средах.

Материалы статьи адресованы испытательным лабораториям, в т. ч. промышленных предприятий и экологического мониторинга. Развернутые пояснения дают представление о том, что разработанные УНИИМ методики измерений могут быть использованы для определения содержания металлов (компонентов) в различных воздушных средах: воздухе рабочей зоны, атмосферном воздухе, промышленных выбросах в атмосферу. Пользователи методик смогут варьировать параметры измерений с учетом технических возможностей лаборатории, при этом не отклоняться от положений ГОСТ 12.1.005–88, ПНД Ф 12.1.1–99.

Ключевые слова: атмосфера, воздушная среда, измерение содержания металлов, методика измерений, стандартный образец, межлабораторные сличительные испытания, обеспечение единства измерений, выбросы, аналитическая проба, комплексный подход

Принятые сокращения: МИ – методика измерений; СО – стандартный образец; МСИ – межлабораторные сличительные испытания; ФИФ ОЕИ – Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений.

Ссылка при цитировании: Пономарева О. Б., Канаева Ю. В., Гайко М. В. Комплексный подход как особенность обеспечения качества измерений содержаний металлов в воздушных средах // Эталоны. Стандартные образцы. 2025. Т. 21, № 2. С. 114–122. <https://doi.org/10.20915/2077-1177-2025-21-2-114-122>

Статья поступила в редакцию 29.11.2024; одобрена после рецензирования 15.05.2025; принята к публикации 25.06.2025.

MODERN METHODS OF ANALYSIS OF SUBSTANCES AND MATERIALS

Review Article

Comprehensive Approach as a Feature of Quality Assurance of Measurements of Metal Contents in Air Environments

Olga B. Ponomareva ✉, Yulia V. Kanaeva, Mariia V. Gaiko

UNIIM – Affiliated Branch of the D. I. Mendeleyev Institute for Metrology, Yekaterinburg, Russia
✉ ponomareva@uniim.ru

Abstract: Determining the composition of air environments (workplace air, atmospheric air, industrial emissions into the atmosphere) is important for environmental safety. Measuring their composition indicators in automatic mode is a priority direction in the activities of enterprises. However, measuring the content of metals in automatic mode is currently a complex, time-consuming and expensive task. The first step to eliminating these shortcomings may be an analysis of the capabilities of available measurement methods and reference materials.

The authors of the review article described a comprehensive approach to ensuring the quality and accuracy of the measurement results of metal content in air environments, implemented using methods and reference materials developed at the UNIIM – Affiliated Branch of the D. I. Mendeleyev Institute for Metrology.

The bibliographic is based on regulatory documents in the field of monitoring the state of air environments, in particular, RF Government Resolution No. 1847, GOST R 8.960-2019, GOST R 70803–2023, GOST R ISO 15202-1-2023, GOST 12.1.005–88 and others (27 sources in total). An array of relevant methodological recommendations was analyzed, for example, PND F 12.1.1–99, MU No. 4574–88 and others. Separately, the methods for measuring metal content in air environments developed by the UNIIM based on the most available measurement methods for most laboratories – photometric, titrimetric.

The article provides a clear idea of the comprehensive approach to ensuring the quality of measurements of metal contents in air environments. The review article is structured as a combination of actions: development of measurement methods and their certification, development of reference materials for certification of measurement methods and quality control of the measurement results, conducting tests to approve types of reference materials, conducting interlaboratory comparison tests to control the quality of sampling procedures and quality control of the measurement results of metal contents in air environments.

The article is addressed to testing laboratories, including industrial enterprises and environmental monitoring. Detailed explanations provide an idea of the fact that the measurement methods developed by the UNIIM can be used to determine the content of metals (components) in various air environments: workplace air, atmospheric air, industrial emissions into the atmosphere. Users of the specified methods will be able to vary the measurement parameters taking into account the technical capabilities of the laboratory without deviating from the provisions of GOST 12.1.005–88, PND F 12.1.1–99.

Keywords: atmosphere, air environment, metal content measurement, measurement technique, reference material, interlaboratory comparisons, ensuring the uniformity of measurements, emissions, analytical sample, comprehensive approach

Abbreviators used: MT – measurement technique; ILC – interlaboratory comparisons; RM – reference material; FIF EUM – Federal Information Fund for Ensuring the Uniformity of Measurements.

For citation: Ponomareva O. B., Kanaeva Yu. V., Gaiko M. V. Comprehensive approach as a feature of quality assurance of measurements of metal contents in air environments. *Measurement Standards. Reference Materials*. 2025;21(2):114–122. (In Russ.). <https://doi.org/10.20915/2077-1177-2025-21-2-114-122>

The article was submitted 29.11.2024; approved after reviewing 15.05.2025; accepted for publication 25.06.2025.

Введение

Актуальное состояние

Достоверное определение содержания загрязняющих веществ в воздухе рабочей зоны, атмосферном воздухе и промышленных выбросах в атмосферу¹ – важная для аналитического сообщества задача², от оперативного решения которой зависит скорость принятия мер по устранению негативного воздействия вредных факторов на окружающую среду [1].

В Российской Федерации по данным за 2021 г. наибольший вклад в загрязнение окружающей среды внесли выбросы от стационарных источников – до 2/3 объемов загрязнений, или 2 млн т [2]. Переломить негативную тенденцию отчасти возможно введением автоматизации контроля за содержанием выбросов в атмосферу, и с этой целью в 2021 г. разработаны общие принципы производственного

экологического контроля и его метрологического обеспечения ИТС 22.1–2021³.

Регулирование процессов автоматизации контроля качества воздуха закреплено в нормативных документах (ГОСТ Р ИСО 23431–2023, ГОСТ Р 8.960–2019, ГОСТ Р 70803–2023⁴ и др.). Автоматическое информирование о составе промышленных выбросов в атмосферу и анализ состава атмосферного воздуха и воздуха рабочей зоны осуществляется посредством вдушительного парка приборов (анализаторов).

Анализ содержания металлов в воздушных средах в автоматическом режиме – трудоемкая

³ ИТС 22.1 – 2021 Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям. Общие принципы производственного экологического контроля и его метрологического обеспечения.

⁴ ГОСТ Р ИСО 23431–2023 Определение качества воздуха в автомобильном туннеле. ГОСТ Р 8.960–2019 Государственная система обеспечения единства измерений. Наилучшие доступные технологии. Метрологическое обеспечение автоматических измерительных систем для контроля вредных промышленных выбросов. Основные положения. ГОСТ Р 70803–2023 Автоматические измерительные системы для контроля выбросов загрязняющих веществ. Общие технические требования.

¹ Фомин Г. С., Фомина О. Н. Воздух. Контроль загрязнений по международным стандартам : справочник. М. : «Протектор», 2002. 432 с.

² Молчатский С. Л., Нелюбина Е. Г. Эколого-аналитический контроль состояния окружающей среды : Учебное пособие. М. : Ай Пи Ар Медиа, 2023. 166 с.

и дорогостоящая процедура, как и создание газовых смесей с известным содержанием определяемых металлов (например, с применением газовой камеры и распылением СО состава растворов металлов в воздушные/газовые смеси) для градуировки и поверки приборов испытательными (аналитическими) лабораториями.

Целенаправленность работы

Анализ существующих методик измерений [3] показал: основная часть аттестованных методик измерений содержаний металлов предполагает (а) отбор проб (далее – аналитических проб) путем извлечения определяемых компонентов из воздушных сред с применением твердых поглотителей; (б) подготовку отобранных проб; (в) измерение содержаний анализируемых компонентов с применением (в лабораториях) различных методов измерений (фотометрического, атомно-эмиссионного, атомно-абсорбционного, инверсионной вольтамперометрии) исходя из возможностей лабораторий (например, ГОСТ Р ИСО 15202-1-2023⁵).

МИ относятся к сфере Государственного регулирования обеспечения единства измерений (ГРОЕИ) в соответствии с ФЗ 102–ФЗ⁶. Показатели точности результатов измерений должны соответствовать требованиям Перечня измерений⁷.

Цель представленной обзорной статьи – описать, как посредством разработанных Уральским филиалом ВНИИМ им. Д. И. Менделеева (Росстандарт) МИ организован комплексный подход к метрологическому обеспечению измерений содержаний металлов в воздушных средах.

⁵ ГОСТ Р ИСО 15202-1-2023 Воздух рабочей зоны. Определение содержания металлов и металлоидов в твердых частицах аэрозоля методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой.

⁶ Об обеспечении единства измерений: Федеральный закон от 26 июня 2008 г. № 102-ФЗ: принят Государственной Думой 11 июня 2008 г., одобрен Советом Федерации Федерального Собрания Российской Федерации 18 июня 2008 г.

⁷ Об утверждении перечня измерений, относящихся к сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений: Постановление Правительства РФ от 16 ноября 2020 г. № 1847.

С этой целью авторам предстоит обобщить: – опыт использования наиболее доступных большинству лабораторий методов измерений (фотометрического, титриметрического); – опыт обеспечения посредством применения разработанных специалистами УНИИМ методик достоверности результатов измерений содержаний металлов в воздушных средах.

Отдельно предстоит рассмотреть особенности применения положений⁸, взятых за основу при разработке указанных методик.

Материалы и методы

МИ: назначение, структура, характеристики

Рассматриваемые в статье МИ содержаний металлов в одной или нескольких воздушных средах предусматривают стадию отбора проб и аналитическую стадию [4] (рис. 1):

- 1) стадия отбора проб завершается предоставлением отобранной пробы в лабораторию;
- 2) аналитическая стадия включает процедуры пробоподготовки и получения результатов измерений.

Диапазоны измерений содержаний определяемых компонентов заданы в соответствии с СанПиН 1.2.3685–21⁹ и соответствуют потребностям лабораторий.

Стадия отбора проб. Рассматриваемые МИ регламентируют использование СИ, внесенных в ФИФ ОЕИ и поверенных в соответствии с ФЗ 102. Отбор проб проводится с применением фильтров (или других сорбирующих материалов), обеспечивающих осаждение определяемого металла. Рассматриваемые МИ включают схематичность описания процедуры

⁸ Петрухин О. М. Экстракция металлов и координационная химия // Успехи аналитической химии: [сборник] / Рос. акад. наук, Ин-т общ. и неорганич. химии им. Н. С. Курнакова; [отв. ред. Л. К. Шпигун]. М.: Наука, 2007. 390 с.

Марченко З. Фотометрическое определение элементов. М.: Мир, 1971. 502 с.

Булатов М. И., Калинин И. П. Практическое руководство по фотометрическим методам анализа. Л.: Химия, 1986. 432 с.

Способ количественного определения ионов железа : пат. 2011144136/15 РФ; заявл. 31.10.2011 ; опубл. 10.09.2013.

⁹ СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания.

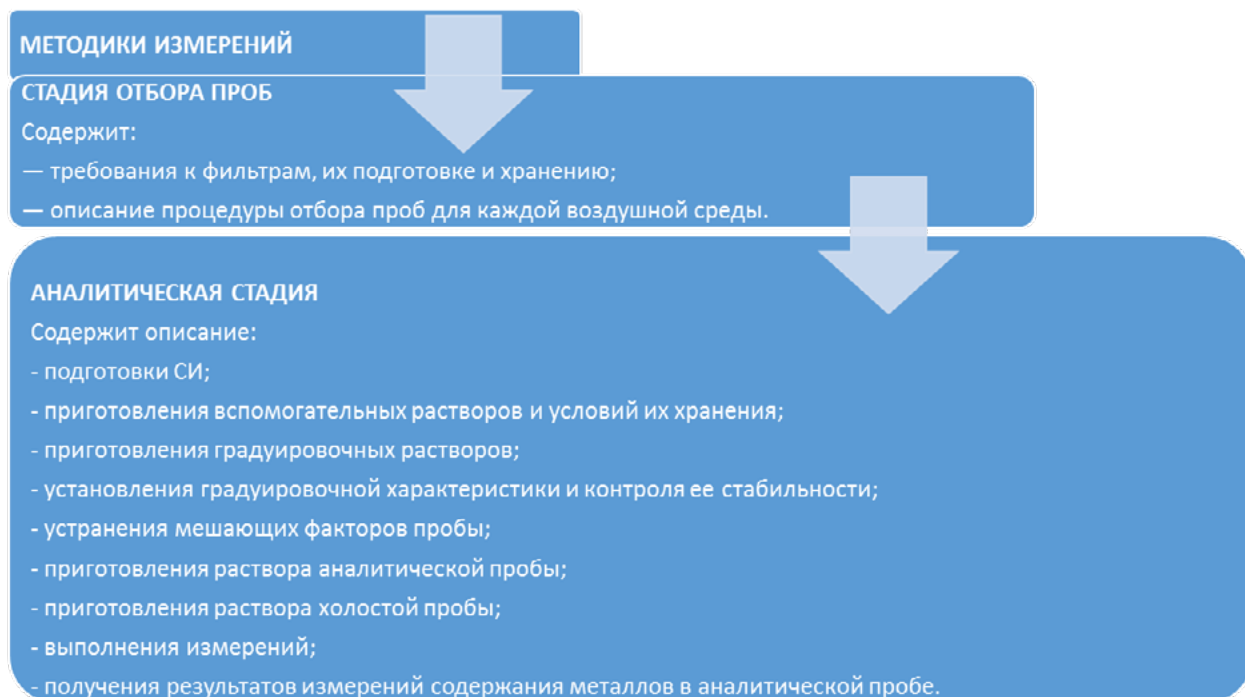


Рис. 1. Типичная структура методики измерений содержания металлов в одной или нескольких воздушных средах

Fig. 1. Typical structure of the method for measuring the content of metals in one or several air environments

отбора проб и детально описывают требования к подготовке, хранению и эксплуатации фильтров. С учетом ГОСТ 12.1.005–88¹⁰, ПНД Ф 12.1.1–99¹¹ подробно описывают процедуру отбора проб, включая соответствующее необходимое оборудование, установление объемного расхода воздуха/газа и времени аспирирования при отборе проб, дают возможность пользователям методик варьировать эти параметры с учетом технических возможностей лаборатории.

Аналитическая стадия. В соответствии с предлагаемым подходом находят содержание металлов в аналитической пробе (фильтре или другом сорбирующем материале с осажденными в процессе отбора из воздушной среды компонентами). Диапазон содержаний компонентов в аналитической пробе необходимо

устанавливать при разработке МИ с учетом аспирируемого объема воздуха/газа и в соответствии с прописанными процедурами:

- подготовкой СИ;
- приготовлением вспомогательных растворов (и условиями их хранения);
- приготовлением градуировочных растворов (если предусмотрено методикой);
- установлением градуировочной характеристики и контролем ее стабильности (если предусмотрено методикой);
- устранением мешающих факторов пробы (при необходимости);
- приготовлением раствора аналитической пробы;
- приготовлением раствора холостой пробы (если предусмотрено методикой);
- выполнением измерений;
- получением результатов измерений содержания металлов в аналитической пробе.

Нейтрализация влияющих факторов. Важнейшее значение для получения достоверных результатов измерений имеет нейтрализация влияющих на результаты факторов. Рассмотренные в данной статье методики

¹⁰ ГОСТ 12.1.005–88 Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.

¹¹ ПНД Ф 12.1.1–99 Методические рекомендации по отбору проб при определении концентраций вредных веществ (газов и паров) в выбросах промышленных предприятий.

позволяют устанавливать мешающие компоненты и выбирать способы устранения их мешающего влияния: маскировку мешающих компонентов, их отделение или замену реагента-красителя [5]. В рассматриваемых МИ на стадии разработки определены способы устранения мешающих факторов и проведения проверки их устранения. При невозможности устранения каких-либо влияющих факторов в МИ четко отражают, что при таком составе проб методика применению не подлежит.

Метрологическую прослеживаемость результатов измерений в соответствии с новой редакцией ФЗ 102 [6] обеспечивает использование градуировочных растворов, приготовленных с применением СО утвержденных типов состава растворов металлов (при необходимости установления градуировочных характеристик).

Результаты измерений. Результат измерений массовой концентрации металла, выполненный в точном соответствии с изложенными в описанных МИ процедурами измерений, полученный на основе содержания определяемого металла в аналитической пробе и объема аспирированной воздушной среды, будет обеспечен метрологической прослеживаемостью к Государственному первичному эталону.

Контроль качества результатов измерений. Одна из составных частей рассматриваемых в настоящей статье МИ, в соответствии с п. 8.4 ГОСТ Р 8.563-2009¹², – контроль качества результатов измерений. При внутреннем контроле целесообразно оценивать качество процедуры отбора проб и проводить контроль качества результатов измерений с применением СО утвержденного типа, имитирующего аналитическую пробу.

Рассматриваемые МИ отражают рекомендуемые процедуры внешнего контроля, реализуемые аккредитованными провайдерами МСИ, в том числе:

- с целью контроля правильности выполнения процедуры отбора проб;
- с целью контроля точности измерений содержания определяемых компонентов в анализируемой воздушной среде.

¹² ГОСТ Р 8.563–2009 Государственная система обеспечения единства измерений. Методики (методы) измерений.

СО: назначение, характеристики

Обеспечить проверку достоверности полученных по рассматриваемым МИ результатов измерений и подтверждение их метрологической прослеживаемости призваны СО, идентичные (адекватные по составу) аналитической пробе (для этих СО проводятся их испытания в целях утверждения типов). Разработчик СО (он же – разработчик описанных в настоящей статье МИ) учитывает возможность их применения для разных методик определения содержания анализируемого металла. Предусмотрена возможность применения СО для установления метрологических характеристик и контроля качества измерений широкого круга методик анализа воздушных сред, применяющих различные методы измерений: спектрофотометрию, атомно-абсорбционную спектрометрию, атомно-эмиссионную спектрометрию с индуктивно-связанной плазмой.

МСИ как проверка квалификации лабораторий

Лаборатории должны осуществлять мониторинг своей деятельности посредством МСИ с целью обеспечения точности и достоверности результатов измерений в соответствии с ГОСТ ISO/IEC 17025–2019¹³:

- а) для контроля качества процедур отбора проб;
- б) для контроля качества результатов измерений содержания металлов в воздушных средах [7] с применением образцов для контроля.

В качестве образцов для контроля используют СО утвержденных типов, адекватные аналитическим пробам, отбираемым по соответствующим МИ. На основе предоставленных провайдеру МСИ лабораториями-участниками результатов измерений, с опорой на требования к точности результатов измерений, установленные в используемой конкретной лабораторией МИ, возможно оценить качество результатов измерений каждого участника МСИ.

Результаты и обсуждение

Научная деятельность авторов статьи лежит в области метрологического обеспечения

¹³ ГОСТ ISO/IEC 17025–2019 Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий.

измерений показателей состава воздушных сред. В настоящей публикации реализован новый в сравнении с [3, 7] подход к разработке темы, а именно – обоснование эффективности комплексного подхода к метрологическому обеспечению измерений содержаний металлов в воздушных средах, основанного на применении доступных, сравнительно широко распространенных и эффективных МИ и СО одного производителя (в данном случае – УНИИМ).

Анализ объединенных в одном контексте сведений о разработке, характеристиках и назначении МИ и СО позволяет сделать вывод о том, что именно комплексное их применение обеспечивает достоверность результатов измерений содержаний металлов в воздушных средах.

Говоря о комплексном подходе, аргументированно показано: качественные МИ с четко и подробно прописанными процедурами, в т. ч. обеспечивающими устранение влияния мешающих компонентов, становятся фундаментом для разработки адекватных аналитическим пробам СО.

Именно единый подход к разработке МИ, СО и контролю качества результатов измерений даст возможность получать достоверные результаты измерений.

Заключение

В соответствии с целью статьи, представлен механизм и практика применения разработанных уральским филиалом ВНИИМ им. Д. И. Менделеева (Росстандарт) МИ содержаний металлов в воздушных средах.

Акцент в статье сделан на комплексном подходе к метрологическому обеспечению измерений содержаний металлов в воздушных средах

Комплексный подход позволяет обеспечить качество, достоверность и метрологическую прослеживаемость результатов измерений содержаний металлов в воздушных средах (рис. 2).

Такой комплексный подход к проведению работ по метрологическому обеспечению измерений содержания металлов в воздушных средах (реализуемый как научными работниками, так и лабораториями) дает возможность существенно увеличить доверие к получаемой в лаборатории информации о составе воздушных сред и тем самым, при необходимости, вовремя принимать управляющие решения по изменению качества воздуха или газа.

Благодарности: Все измерения проведены с использованием оборудования УНИИМ – филиала ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева».

Acknowledgments: All measurements were performed using equipment of the UNIIM – Affiliated Branch of the D. I. Mendeleyev Institute for Metrology.

Вклад авторов: Пономарева О. Б. – деятельность по аннотированию, созданию метаданных; аккумулярование исследовательских данных; подготовка черновика рукописи, написание первоначального текста рукописи; пересмотр рукописи и предпечатное редактирование; Канаева Ю. В. – разработка методологии исследования; Гайко М. В. – сбор данных; подготовка и создание визуальных материалов (изображения, схемы и др.).

Contribution of the authors: Ponomareva O. B. – abstract creation; metadata creation; research data collection; preparation of a draft article, writing the initial text of the article; revision

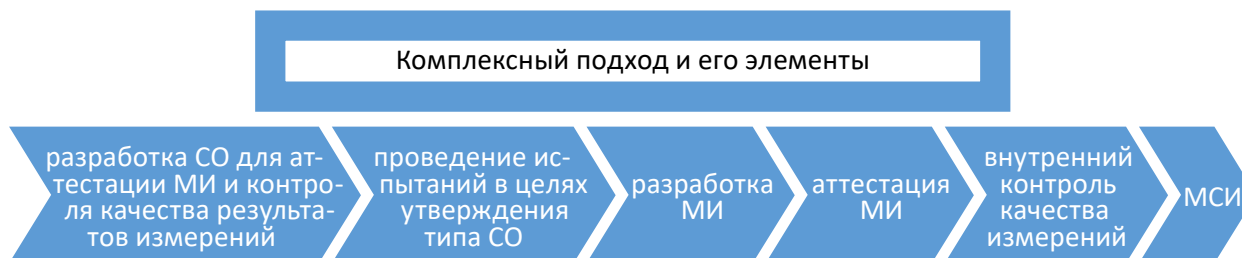


Рис. 2. Система обеспечения комплексного подхода к обеспечению качества измерений содержаний металлов в воздушных средах

Fig. 2. System for providing a comprehensive approach to ensuring measurements of metal content in air environments

of and pre-print editing of the text); Kanaeva Yu. V. – development of research methodology; Gaiko M. V. – data collection; preparation and creation of visual materials (figures, diagrams, etc.).

Конфликт интересов: Авторы являются сотрудниками учредителя журнала. Однако при написании рукописи статьи авторы руководствовались соображениями научной ценности полученного материала и заявляют о беспристрастности оценки полученных данных.

Conflict of interest: The authors are employees the journal's founder. However, when writing

the manuscript of the article, the authors were guided by considerations of scientific value of the material obtained and declare the impartiality of the evaluation of the obtained data.

Финансирование: Это исследование не получало финансовой поддержки в виде гранта от какой-либо организации государственного, коммерческого или некоммерческого сектора.

Funding: The research did not receive financial support in the form of a grant from any public, commercial, or non-profit sector organization.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Иситов Д. Т., Каблуклова О. Д. Как загрязнение атмосферы влияет на природу // Молодой ученый. 2016. Т. 9, № 9.1 (113.1). С. 34–35. <https://moluch.ru/archive/113/29010/>
2. Аналитический контроль промышленных выбросов / Л. А. Конопелько [и др.]; под ред. Л. А. Конопелько, О. Г. Попова. М. : Издательство ТРИУМФ, 2023. 438 с.
3. Пономарева О. Б., Канаева Ю. В., Гайко М. В. Методики измерений показателей состава воздушных сред: разработка и применение // Эталоны. Стандартные образцы. 2023. Т. 19, № 4. С. 99–113. <https://doi.org/10.20915/2077-1177-2023-19-4-99-113>
4. Кропанев А. Ю. Методики анализа воздушных сред. Аттестация и организация внутрилабораторного контроля качества результатов анализа // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2018. Т. 84, № 8. С. 65–70. <https://doi.org/10.26896/1028-6861-2018-84-8-65-70>
5. Пономарева О. Б., Канаева Ю. В., Гайко М. В. Особенности обеспечения качества измерений содержаний металлов в воздушных средах // Стандартные образцы в измерениях и технологиях: тез. докладов. Часть «Ru». VI Международная научная конференция, 3–6 сентября 2024 г., Екатеринбург, Россия. Екатеринбург: ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева», 2024. С. 136–137.
6. МСИ как инструмент контроля качества измерений / В. Ю. Третьякова [и др.] // III Международная научно-практическая конференция молодых ученых и специалистов «За нами будущее» и пилотный Международный конкурс «Лучший молодой метролог МГС СНГ» : сб. тезисов докладов, г. Санкт-Петербург, 11–14 июня 2024 г. СПб.: Типография Литас+, 2024. С. 442–444.
7. Богачева А. М., Пономарева О. Б., Канаева Ю. В. Разработка образцов для МСИ и стандартных образцов для обеспечения качества результатов измерений показателей состава воздушных сред // Эталоны. Стандартные образцы. 2018. Т. 14, № 3–4. С. 43–50. <https://doi.org/10.20915/2077-1177-2018-14-3-4-43-50>

REFERENCES

1. Isitov D. T., Kablukova O. D. How atmospheric pollution affects nature. *Molodoj uchenyj*. 2016;9.1(113.1):34–35. (In Russ.).
2. Konopelko L. A., Popov O. G., Kustikov Yu. A., Kolobova A. V., Malginov A. V., Manevich M. D. P. et al. Analytical control of industrial emissions. Edited by Konopelko L. A. and Popov O. G. Moscow: TRIUMPH Publishing House; 2023. 438 p. (In Russ.).
3. Ponomareva O. B., Kanaeva Yu. V., Gaiko M. V. Measurement techniques for the composition of air environments: development and application. *Measurement Standards. Reference Materials*. 2023;19(4):99–113. (In Russ.). <https://doi.org/10.20915/2077-1177-2023-19-4-99-113>
4. Kropanev L. Yu. Methodologies for analysis of air environment. certification and arrangement of intra laboratory control of the quality of analysis results. *Industrial laboratory. Materials diagnostics*. 2018;84(8):65–70. (In Russ.). <https://doi.org/10.26896/1028-6861-2018-84-8-65-70>
5. Ponomareva O. B., Kanaeva Yu. V., Gaiko M. V. Features of ensuring the quality of metal content measurements in air environments. In: *Reference materials in measurement and technology: Collection of works VI International Scientific Conference*, 3–6 September 2024, Yekaterinburg, Russia. Yekaterinburg: UNIIM; 2024. P. 136–137. (In Russ.).
6. Tretyakova V. Yu., Momotova L. Yu., Malakhova S. Yu., Ponomareva O. B. ISI as a measurement quality control tool. In: *The III International Scientific and Practical Conference of young Scientists and specialists "The future*

belongs to us” and the pilot International competition “The best young Metrologist of the CIS MGS”: Collection of works, 11–14 June 2024, St. Petersburg, Russia. St. Petersburg: Tipografiya Litas+; 2024. P. 442–444. (In Russ.).

7. Bogacheva A. M., Ponomareva O. B., Kanaeva Yu. V. Development of interlaboratory comparison test samples and reference materials for the quality assurance of air composition measurements. *Measurement Standards. Reference Materials*. 2018;14(3–4):43–50. (In Russ.). <https://doi.org/10.20915/2077-1177-2018-14-3-4-43-50>

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Пономарева Ольга Борисовна – ведущий научный сотрудник лаборатории метрологии аналитических измерений и межлабораторных сравнительных испытаний УНИИМ – филиала ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева»

620075, г. Екатеринбург, ул. Красноармейская, 4
e-mail: ponomareva@uniim.ru

Канаева Юлия Владимировна – заведующий лабораторией метрологии аналитических измерений и межлабораторных сравнительных испытаний УНИИМ – филиала ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева»

620075, г. Екатеринбург, ул. Красноармейская, 4
e-mail: metod224@uniim.ru

Гайко Мария Владимировна – ведущий инженер лаборатории метрологии аналитических измерений и межлабораторных сравнительных испытаний УНИИМ – филиала ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева»

620075, г. Екатеринбург, ул. Красноармейская, 4
e-mail: metod224@uniim.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Olga B. Ponomareva – Leading Researcher of the Laboratory for Metrology of Analytical Measurements and Interlaboratory Comparisons, UNIIM – Affiliated Branch of the D. I. Mendeleyev Institute for Metrology

4 Krasnoarmeyskaya st., Yekaterinburg, 620075, Russia
e-mail: ponomareva@uniim.ru

Yulia V. Kanaeva – Head of the Laboratory for Metrology of Analytical Measurements and Interlaboratory Comparisons, UNIIM – Affiliated Branch of the D. I. Mendeleyev Institute for Metrology

4 Krasnoarmeyskaya st., Yekaterinburg, 620075, Russia
e-mail: metod224@uniim.ru

Mariia V. Gaiko – Leading Engineer of the Laboratory for Metrology of Analytical Measurements and Interlaboratory Comparisons, UNIIM – Affiliated Branch of the D. I. Mendeleyev Institute for Metrology

4 Krasnoarmeyskaya st., Yekaterinburg, 620075, Russia
e-mail: metod224@uniim.ru