

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 32.1.001.01,
созданного на базе Федерального государственного унитарного предприятия
«Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии
им. Д.И. Менделеева» Федерального агентства по техническому
регулированию и метрологии Министерства промышленности и торговли
Российской Федерации, по диссертации на соискание ученой степени
доктора наук

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от «18» ноября 2025 г. № 18

О присуждении Колобовой Анне Викторовне, гражданке Российской
Федерации, ученой степени доктора технических наук.

Диссертация «Развитие системы метрологического обеспечения
промышленного производства больших объемов стандартных образцов
состава газовых смесей»

по специальности 2.2.10. «Метрология и метрологическое
обеспечение»

принята к защите «7» августа 2025 г., протокол заседания
диссертационного совета № 16.2, диссертационным советом 32.1.001.01,
созданным на базе Федерального государственного унитарного предприятия
«Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии
им. Д.И. Менделеева» Федерального агентства по техническому
регулированию и метрологии Министерства промышленности и торговли
Российской Федерации, 190005, Россия, Санкт-Петербург, Московский пр.,
д. 19, приказ о создании диссертационного совета № 105/нк от «11» апреля
2012 г. (с изменениями, введенными приказами от 22 марта 2018 г. № 304/нк,
от 15 февраля 2019 г. №137/нк, от 19 марта 2020 г. №361/нк, от 15 ноября
2021 г. №1179/нк, от 26 января 2023 г. №94/нк, от 21 октября 2025 г.
№1029/нк).

Соискатель Колобова Анна Викторовна, «18» марта 1974 года
рождения.

Диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических
наук по специальности 05.11.15 «Метрология и метрологическое
обеспечение» на тему «Исследование и разработка методов
метрологического контроля промышленно выпускаемых стандартных
образцов состава газовых смесей» защитила в 2008 году в диссертационном
совете, созданном на базе ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева». В 2000 г.

окончила обучение в очной аспирантуре Санкт-Петербургского государственного института точной механики и оптики (Технический университет).

Соискатель Колобова Анна Викторовна в настоящее время работает руководителем научно-исследовательского отдела госэталонов в области физико-химических измерений (НИО 242), является ученым – хранителем государственного эталона ГЭТ 154-2019 во ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева» Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии Министерства промышленности и торговли Российской Федерации.

Диссертация выполнена в отделе госэталонов в области физико-химических измерений ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева» Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии Министерства промышленности и торговли Российской Федерации.

Научный консультант – доктор технических наук, профессор, Конопелько Леонид Алексеевич, ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева», кафедра «Теоретическая и прикладная метрология», профессор кафедры.

Официальные оппоненты:

Прокунин Сергей Викторович, доктор технических наук, ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт физико-технических и радиотехнических измерений», заместитель начальника НИО-6 по научной работе – ученый – хранитель государственного эталона;

Минлигареев Владимир Тимурович, доктор технических наук, доцент, ФГБУ «Национальный исследовательский центр “Курчатовский институт”», руководитель Центра арктических исследований;

Волкодаева Марина Владимировна, доктор технических наук, профессор, ООО «Институт проектирования, экологии и гигиены», руководитель Отдела комплексной оценки загрязнения атмосферы; дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», г. Москва – в своем положительном отзыве, подписанном Комшиным Александром Сергеевичем доктором технических наук, доцентом, заведующим кафедры «Метрология и взаимозаменяемость», и утвержденном Дрогозовом Павлом Анатольевичем, доктором экономических наук, профессором, проректором по науке и цифровому развитию, указала, что диссертационная работа Колобовой Анны Викторовны, представленная на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.2.10. «Метрология и метрологическое обеспечение», является завершённой работой, удовлетворяет критериям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней, утвержденном постановлением правительства Российской Федерации № 842 от 24.09.2013, а её автор достоин присуждения ему ученой степени доктора технических наук.

Соискатель имеет 71 опубликованную работу, в том числе по теме диссертации опубликовано 42 работы, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 36 работ. В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем работах.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1) Колобова А. В. Развитие эталонной базы и средств метрологического обеспечения газоаналитических измерений в Российской Федерации / А. В. Колобова // Измерительная техника. – 2022. – № 7. – С. 36-42. – DOI 10.32446/0368-1025it.2022-7-36-42. (объем 0,92 п.л.);

2) Колобова А. В. Обеспечение метрологической прослеживаемости стандартных образцов состава газовых смесей / А. В. Колобова // Измерительная техника. – 2024. – № 1. – С. 61-66. – DOI 10.32446/0368-1025it.2024-1-61-66. (объем 0,57 п.л.);

3) Колобова А.В. 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 // Эталоны. Стандартные образцы. - 2020. - Т. 16. - N 3. - С. 23-35. <https://doi.org/10.20915/2687-0886-2020-16-3-23-35> (объем 1,63 п.л./авторский вклад 0,543 п.л.);

Личный вклад автора: Постановка задачи и разработка концепции статьи, приведение результатов исследований МХ усовершенствованного ГПЭ и результатов участия в международных сличениях, формулировка концепции и описание государственной поверочной схемы;

4) Колобова А.В. Особенности применения стандартных образцов – имитаторов для метрологического обеспечения газоаналитических средств измерений / А.В. Колобова, Л.А. Конопелько, Т.Б. Соколов, О.В. Фатина // Эталоны. Стандартные образцы. - 2023. - Т. 19. - N 3. - С. 55-64. <https://doi.org/10.20915/2077-1177-2023-19-3-55-64> (объем 1,25 п.л. / авторский вклад 0,625 п.л.);

Личный вклад автора: Постановка задачи и разработка концепции исследований имитаторов, разработка методологии применения имитаторов, анализ результатов внедрения методологии;

5) Колобова А.В. Динамические методы приготовления газовых смесей / А.В. Колобова, А.В. Мальгинов, А.А. Нечаев, В.А. Кошев // Эталоны. Стандартные образцы. - 2024. - Т. 20. - N 4. - С. 76-88. <https://doi.org/10.20915/2077-1177-2024-20-4-76-88> (объем 1,63 п.л. / авторский вклад 0,815 п.л.);

Личный вклад автора: Общее руководство и координация, постановка задачи исследования, интерпретация результатов исследования метрологических характеристик дозаторов газовых смесей;

6) Колобова А.В., Фатина О.В., Мальгинов А.В. Исследования баллонов отечественных производителей в целях разработки и выпуска эталонов сравнения – стандартных образцов состава газовых смесей на основе диоксида серы, сероводорода, карбонилсульфида // Эталоны. Стандартные образцы. - 2025. - Т. 21. - № 2. - С. 61–76. <https://doi.org/10.20915/2077-1177-2025-21-2-61-76> (объем 2 п.л. / авторский вклад 1 п.л.);

Личный вклад автора: Разработка методики исследований эталонов сравнения состава газовых смесей, хранящихся в отечественных баллонах, исследование источников неопределенности содержания компонентов в газовой смеси - эталоне сравнения в отечественном баллоне;

7) Конопелько Л.А. Проблема повышения качества серийно выпускаемых стандартных образцов состава газовых смесей/ Л.А. Конопелько, А.В. Колобова, О.В. Фатина // Стандартные образцы. - 2019. - Т. 15. - N 3. - С. 5-13. <https://doi.org/10.20915/2077-1177-2019-15-3-5-13> (объем 1,13 п.л. / авторский вклад 0,377 п.л.);

Личный вклад автора: Анализ структуры системы обеспечения качества СО состава газовых смесей, выпускаемых разными производителями, и проведение исследований их характеристик;

8) Чубченко Я.К. Разработка эталонной установки для метрологического обеспечения измерений дельта значения отношения изотопов углерода и кислорода в выдыхаемом воздухе / Я.К. Чубченко, А.В. Колобова, А.В. Ларош, Г.А. Афанасьев // Эталоны. Стандартные образцы. - 2024. - Т. 20. - N 2. - С. 5-22. <https://doi.org/10.20915/2077-1177-2024-20-2-5-22> (объем 2,25 п.л. / авторский вклад 0,563 п.л.);

Личный вклад автора: Теоретическое обоснование и разработка структуры метрологического обеспечения дельта значений отношения изотопа углерода и кислорода, анализ результатов исследований;

9) Мальгинов А.В. Обеспечение прослеживаемости результатов измерений содержания загрязняющих веществ в промышленных выбросах автоматическими измерительными системами / А.В. Мальгинов, О.Г. Попов, А.В. Колобова, Л.А. Конопелько, Ю.А. Кустиков // Эталоны. Стандартные образцы. - 2020. - Т. 16. - N 4. - С. 17-26. <https://doi.org/10.20915/2687-0886-2020-16-4-17-26> (объем 1,25 п.л. / авторский вклад 0,25 п.л.);

Личный вклад автора: Теоретическое обоснование принципов построения стенда и обеспечения прослеживаемости к ГПЭ;

10) Конопелько Л.А. Газовые смеси как стандартные образцы состава / Л.А. Конопелько, А.В. Колобова, Г.Р. Нежиховский, О.В. Анистратов // Стандартные образцы. - 2015. - N 2. - С. 55-60. 26 (объем 0,75 п.л. / авторский вклад 0,188 п.л.);

Личный вклад автора: Анализ метрологической прослеживаемости результатов измерений молярной доли компонентов в газовой смеси, окончательная редакция статьи;

11) Конопелько Л.А. Эталонные газовые смеси формальдегида в азоте: приготовление динамическим гравиметрическим методом / Л.А. Конопелько, О.В. Ефремова, Р.Л. Кадис, А.Ю. Климов, А.В. Колобова, А.В. Мальгинов, Я.К. Чубченко // Измерительная техника. - 2019. - N 10. - С. 61-67. (объем 0,69 п.л. / авторский вклад 0,099 п.л.);

Личный вклад автора: Теоретический анализ методов приготовления газовых смесей на основе формальдегида метрологического назначения;

12) Конопелько Л.А. Разработка и производство стандартных образцов состава углеводородных смесей для нефтегазовой отрасли / Л.А. Конопелько, А.В. Колобова, Т.А. Попова, А.А. Даянов // Измерительная техника. - 2013. - N 5. - С. 61-66. (объем 0,40 п.л. / авторский вклад 0,10 п.л.);

Личный вклад автора: Обеспечение прослеживаемости стандартных образцов состава газовых смесей на основе углеводородов к ГПЭ;

13) Конопелько Л.А. Развитие международных ключевых сличений в области химико-аналитических измерений / Л.А. Конопелько, Ю.А. Кустиков, М.В. Окрепилов, А.В. Колобова, П.В. Мигаль, А.И. Крылов, М.С. Вонский, Я.К. Чубченко, О.В. Ефремова, Е.В. Кулябина, В.И. Добровольский, А.Ю. Михеева // Измерительная техника. - 2021. - N 7. - С. 65-72. (объем 1,04 п.л. / авторский вклад 0,087 п.л.);

Личный вклад автора: Формулировка проблемы и задач метрологического обеспечения в области химико- и биоаналитических измерений;

14) Конопелько Л.А. Метрологическое обеспечение контроля качества природного газа / Л.А. Конопелько, А.В. Колобова, Т.А. Попова, Н.О. Пивоварова, В.В. Смирнов, П.И. Бахметьев // Измерительная техника. - 2011. - N 9. - С. 49-53. (объем 0,57 п.л. / авторский вклад 0,095 п.л.);

Личный вклад автора: Постановка задач по развитию системы метрологического обеспечения измерительных технологий при поставке природного газа потребителям.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы из 15 организаций (все отзывы положительные).

В отзывах отмечена актуальность темы, степень проработки вопроса и профессиональный подход к решению поставленных задач, дана положительная оценка проведенных исследований.

1) АО «ОПТЭК» (подписал генеральный директор, кандидат химических наук, Челибанов Владимир Петрович).

Замечания:

1. При вычислении расширенной неопределённости коэффициент охвата принимался равным двум ($k=2$). Из текста автореферата не очень понятен выбор указанного значения коэффициента охвата;
2. Для химически активных веществ существует проблема адсорбции компонентов стенками баллона. Вероятно, полезно было бы дать комментарии – какие использовались подходы для решения этой проблемы.

Общая оценка положительная.

2) АО «НИИ Атмосфера» (подписал генеральный директор, кандидат технических наук, Марцынковский Олег Александрович).

Замечания:

1. В качестве замечаний к автореферату следует отметить несколько неточных или неудачных формулировок, допущенных автором, например, текст на стр.4 «Изготовление нескольких сотен ЭС является сложной трудоемкой задачей, так как требует соблюдения техники безопасности...». На наш взгляд, соблюдение техники безопасности является императивом любой деятельности, тем более при работе с опасными веществами и оборудованием, поэтому ссылаться на этот фактор, как причину трудоемкости процесса, некорректно;
2. Далее на стр.10, в качестве одной из целей работы приведен следующий текст «Необходимо создать устойчивую, способную к развитию систему метрологического обеспечения газоаналитических измерений в части системы метрологического обеспечения промышленного производства больших объемов СО ГС в БД». Такая формулировка предполагает, что ранее такой системы не существовало, что, по-видимому, не соответствует действительности;
3. Кроме того, в формулах (43, 53) автор допускает использование символов, отличающихся от общепринятых обозначений величин, использующихся в химии, которые приведены в руководстве ИЮПАК (см. Quantities, Units and Symbols in Physical Chemistry / IUPAC. BlackwellScience, 2-nd ed.1993), что затрудняет восприятие текста.

Общая оценка положительная.

3) АО «Российский научный центр «Прикладная химия» (ГИПХ)» (подписал начальник отдела, доктор химических наук, профессор, Барабанов Валерий Георгиевич).

Замечания:

1. В автореферате не указаны методы очистки примесных компонентов ГС (низкотемпературная ректификация, сорбционная очистка и т.п.), что особенно важно для приготовления стандартных образцов, компоненты которых выделяются из отходов производства или получают встречным синтезом;
2. В автореферате не приведены факторы, влияющие на стабильность состава и физико-химические свойства стандартных образцов;
3. В автореферате утверждается, что примесные компоненты охарактеризованы соответствующими им пределами обнаружения, но не указаны методы и способы их определения.

Общая оценка положительная.

4) ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт оптико-физических измерений» (подписал ведущий научный сотрудник, доктор технических наук, Левин Александр Давидович).

Замечания:

1. В автореферате отсутствует описание состава ГПЭ единиц содержания компонентов в газовых и газоконденсатных средах, создание которого упомянуто в числе положений, выносимых на защиту и в разделе о практической значимости результатов диссертации;
2. При описании физико-математической модели воспроизведения единиц содержания компонентов в газовых смесях приведены уравнения, содержащие различные частные производные, в том числе при оценке коэффициентов влияния. Неясно, проводились ли с помощью этих уравнений какие-либо реальные расчеты, или они приведены для качественного описания физического смысла рассматриваемых процессов;
3. При описании метода удаленной аттестации эталонных установок на основе Фурье-спектрометров не приведены требования, предъявляемые к этим приборам, в частности, к их спектральному разрешению. На стр.33 указывается на возможность использования приборов с низким спектральным разрешением (4 и 8 см⁻¹). Учитывая, что линии поглощения газов очень узкие (менее 0,1 см⁻¹), неясно, как влияет низкое спектральное разрешение на точность данных, получаемых при аттестации.

Общая оценка положительная.

5) ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)» (подписали заведующий кафедры Информационно – измерительных систем и технологий, доктор технических наук, профессор Королев Павел Геннадьевич и профессор

кафедры Информационно – измерительных систем и технологий, доктор технических наук, Алексеев Владимир Васильевич).

Замечания:

1. Глава 2 Описание «Детализированной структурно-операционной схемы воспроизведения единиц содержания компонентов в газовых и газоконденсатных средах», рис.1 – требует дополнительной информации, показывающей новизну разрабатываемых этапов;
2. На рис.3 и рис.4 приводятся функции от дискретного аргумента ($N_{разб}, i$), который принимает целочисленные значения. Так как аргумент не может принимать дробные значения (Например, $i=1,3$), результаты вычислений лучше представлять в табличном виде;
3. Текст автореферата перегружен практическими результатами (таблицы 5,6,8,11,12), которые представляют несомненный интерес и могли быть приведены в Приложениях диссертационной работы.

Общая оценка положительная.

б) ФГБУН Институт аналитического приборостроения РАН (подписал руководитель научного направления ИАП РАН, профессор, доктор технических наук, Курочкин Владимир Ефимович).

Замечания:

1. В качестве замечания по оформлению можно отметить лишь несквозное применение обозначения некоторых физико-химических величин. Так во второй главе использован «классический» вариант обозначения массы и молекулярной массы вещества через соответственно «m»-строчную и «M»-прописную, а в третьей главе для массы вещества используются уже прописной символ «M», а для обозначения молярной массы греческий символ « μ ». Также в тексте автореферата иногда встречаются аббревиатуры без предварительной их расшифровки, которую можно найти только в тексте самой диссертации.

Общая оценка положительная.

7) ПАО «Газпром» (подписал начальник отдела, кандидат технических наук, Сарваров Ленир Венерович)

Замечания:

1. Использование не совсем корректных выражений «необходимость создания ГПЭ» и «создан ГПЭ нового поколения», поскольку работа проведена на действующем ГПЭ и речь может идти о необходимости его усовершенствования в связи с возникновением новых потребностей в области высокоточных газоаналитических измерений;
2. Неточность использования терминов по сорбционным процессам, а именно адсорбция, абсорбция и хемосорбция, при рассмотрении вопросов пассивации внутренней поверхности баллонов;
3. Кроме того, есть замечания по оформлению текста автореферата: отсутствие расшифровки многообразной аббревиатуры названий стандартных образцов разных типов (кроме первого упоминания) существенно осложняет чтение и восприятие содержания текста;

склонение наименования физической величины «молярная доля» (название таблицы 1); несогласованность названия раздела 4 (опечатка).

Общая оценка положительная.

8) ООО «НПФ «ИНКРАМ»» (подписал заместитель генерального директора, кандидат физико-математических наук, Михайлов Алексей Анатольевич)

Замечание:

1. Автором не приведен перечень предприятий промышленности, на которых были внедрены разработанные методы создания и аттестации поверочных газовых смесей.

Общая оценка положительная.

9) ООО «ПРОМТЕХ» (подписал главный инженер проекта ООО «ПРОМТЕХ», доктор технических наук, Азбель Михаил Дмитриевич).

Замечание:

1. Некоторые неочевидные аббревиатуры не разъясняются при первом использовании. На стр. 3 и далее по тексту приводится аббревиатура ГПЭ; на стр. 5 СМС и МБМВ; на стр. 6 ЧГ и МХ; на стр. 7 КККВ; на стр. 9 ГПС, АРМР, КООМЕТ; на стр. 11 и стр. 21 ИМ. Наверное, имело смысл в самом начале реферата поместить список сокращений и условных обозначений, где дать разъяснения этим аббревиатурам.

Общая оценка положительная.

10) ФГБОУ ВО «Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. И.П. Павлова» (подписали главный метролог ПСПбГМУ им. И.П. Павлова, кандидат технических наук, Еид Муса Мухамад, и заведующий кафедрой клинической лабораторной диагностики с курсом молекулярной медицины ПСПбГМУ им. И.П. Павлова, Председатель Координационного Совета по метрологии в медицине Метрологической академии, доктор медицинских наук, профессор Эмануэль Владимир Леонидович)

Замечания:

1. Почему равенство масс по формуле (4) приводит к оптимальной массе $m_{\text{опт}}$, хотя никакой оптимизации в этом случае нет, просто поддерживается масса смеси, соответствующей массе чистого газа;
2. На рис.2 на осях нет обозначений и отсутствуют комментарии. Аналогично – трудно воспринимается рис.4, ввиду отсутствия объяснений;
3. Затрудняет восприятие информации рис.3 отсутствие обозначений на оси ординат. И, если следовать логике этой иллюстрации, то возникает впечатление, что при формировании шестой ступени приготовления, неопределенность приближается к нулю?

Общая оценка положительная.

11) ООО «Газпром ВНИИГАЗ» (подписал главный специалист корпоративного научно-технического центра метрологического обеспечения, кандидат технических наук, Сергей Алексеевич Степанов)

Замечание:

1. Большое количество специальных сокращений (ГПЭ, ГС, БД, ГПС, ЧГ и т.д.) затрудняет понимание текста автореферата, поэтому, если возможно, желательно выносить эти сокращения в отдельный раздел.
Общая оценка положительная.
- 12) АО «НПФ «СЕРВЭК»» (подписал генеральный директор, кандидат химических наук, Степанов Николай Дмитриевич)
Замечания:
 1. В дискуссионных разделах не в полной мере раскрыты ограничения применения цифровых спектральных моделей при высоких разрешениях ИК-Фурье-спектрометров разных производителей. В дальнейшем следует более подробно описать методику взаимокалибровки разных аппаратных конфигураций;
 2. В некоторых разделах теоретических выкладок присутствует слишком громоздкая детализация формул, что усложняет восприятие основного результата. Рекомендуем вынести полные выводы формально, а сложные цепочки расчетов оформить в приложении.
- 13) ООО «Евротехлаб» (подписал генеральный директор, кандидат химических наук, Шевченко Владимир Васильевич)
Замечаний нет.
Общая оценка положительная.
- 14) ФБУ «НИЦ ПМ Ростест» (подписали первый заместитель генерального директора по науке, доктор технических наук, Кузин Александр Юрьевич и начальник сектора метрологического обеспечения физико-химических измерений, кандидат химических наук, Рутенберг Ольга Липовна)
Замечаний нет.
Общая оценка положительная.
- 15) ООО «Ассоциация Медицины и Аналитики» (подписала генеральный директор, доктор технических наук, Дмитриенко Марина Александровна).
Замечаний нет.
Общая оценка положительная.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их высокой компетентностью в вопросах по теме диссертационной работы и достижениями в соответствующей отрасли науки, наличием публикаций в соответствующей сфере исследования и способностью определить научную и практическую ценность диссертации.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработана научная концепция устойчивой, способной к развитию системы метрологического обеспечения газоаналитических измерений промышленного производства больших объемов стандартных образцов состава газовых смесей в баллонах под давлением, учитывающей современные и перспективные потребности науки, промышленности и

социальных сфер страны. Созданная система основана на ГПЭ, воспроизводящем единицы содержания более четырехсот определяемых компонентов в газовых и газоконденсатных средах, физико-математической модели воспроизведения единицы молярной доли компонентов в чистых газах и газовых смесях с применением вторичных эталонов, методе аттестации эталонных установок предприятий - изготовителей, базирующемся на цифровой спектральной модели эталона сравнения, а также алгоритме, имитирующем выходной контроль метрологических характеристик стандартных образцов газовых смесей с применением специализированных многокомпонентных газовых смесей;

предложены оригинальные научно-методические подходы при моделировании воспроизведения единиц содержания более четырехсот компонентов, в том числе химически активных, в газовых и газоконденсатных средах, с учетом многоступенчатости способа приготовления гравиметрических газовых смесей и необходимости их верификации на каждой из ступеней приготовления, учитывающие источники неопределенности, связанные с пассивацией, адсорбцией и примесями в чистых газах, в том числе, химически активных;

доказана перспективность использования метода удаленной аттестации эталонных установок на базе ИК-Фурье спектрометра с применением цифровой спектральной модели эталона сравнения газовой смеси для обеспечения прослеживаемости к ГПЭ стандартных образцов газовых смесей первого и второго разрядов на основе химически активных компонентов и фреонов;

введены новые термины в части приведения единицы молярной доли примесей в чистых газах 0-го разряда к единице молярной доли примесей чистых газов в эталонах сравнения и цифровой спектральной модели эталона сравнения состава газовой смеси.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказана необходимость увеличения количества, определяемых на ГПЭ компонентов, в десять раз с обеспечением контроля стабильности воспроизведения единицы содержания газовых компонентов, расширяющая область применения ГПЭ;

применительно к проблематике диссертации результативно использованы физические законы и численные методы анализа в области газоаналитических измерений;

изложены доказательства эффективности созданной номенклатуры стандартных образцов - эталонов сравнения состава чистых газов и газовых смесей, согласно предложенным группам, обеспечивающих передачу единиц содержания компонентов от ГПЭ вторичным и рабочим эталонам;

раскрыты и оценены значимые влияющие факторы, определяющие неопределенность воспроизведения единиц содержания компонентов в газовых и газоконденсатных средах, включенные в общий бюджет неопределенности;

изучены улучшенная физико-математическая модель воспроизведения единиц содержания компонентов в газовых и газоконденсатных средах и вклады источников неопределенности измерений в общий бюджет неопределенности, а также физико-математическая модель воспроизведения молярной доли компонентов в чистых газах и газовых смесях с применением вторичных эталонов;

проведена модернизация физико-математической модели воспроизведения единиц содержания компонентов в газовых и газоконденсатных средах, что позволило расширить диапазон воспроизведения единиц содержания компонентов на ГПЭ, с применением ее для химически активных определяемых компонентов, а также средств передачи единицы ЭС – СО ГС за счет применения их цифровой спектральной модели.

Значение полученных соискателем результатов исследования подтверждается тем, что:

разработаны и внедрены научные, организационные, технические и нормативно-методические составляющие системы метрологического обеспечения промышленного производства больших объемов стандартных образцов состава газовых смесей, включая Государственный первичный эталон единиц молярной доли, массовой доли и массовой концентрации компонентов в газовых и газоконденсатных средах ГЭТ 154-2019 (Приказ Росстандарта № 3391 от 27.12.2019 г.), Государственную поверочную схему для средств измерений содержания компонентов в газовых и газоконденсатных средах (Приказ Росстандарта № 2315 от 31.12.2020 г.), ЭС – СО состава ГС в БД в количестве 14 типов, ЭС – специализированные СО состава ЧГ в малолитражных баллонах с нормированными примесями в количестве 14 типов; МИ содержания компонентов в СО состава ГС в БД в количестве 20 штук; эталонные установки на предприятиях – изготовителях СО ГС в БД в качестве вторичных и рабочих эталонов общим количеством 35 штук; МИ 3690-2025 «Рекомендация. Государственная система обеспечения единства измерений. Вторичные эталоны – многофункциональные эталонные установки, обеспечивающие выпуск стандартных образцов состава газовых смесей 0-го разряда. Типовые требования к составу», МИ 3691-2025 «Рекомендация. Государственная система обеспечения единства измерений. Стандартные образцы состава газовых смесей, выпускаемые предприятиями-изготовителями. Методика контроля сопоставимости»; МИ 3692-2025 «Рекомендация. Государственная система обеспечения единства измерений.

Рабочие эталоны, обеспечивающие выпуск стандартных образцов состава газовых смесей в баллонах под давлением. Поэлементный метод аттестации»; МИ 3693-2025 «Рекомендация. Государственная система обеспечения единства измерений. Рабочие эталоны, обеспечивающие выпуск стандартных образцов состава газовых смесей. Метод аттестации с применением цифровой спектральной модели эталонов сравнения», обеспечивающие воспроизведение и передачу единиц содержания компонентов от ГПЭ и ЭУ предприятий – изготовителей средствам измерения содержания компонентов в газовых и газоконденсатных средах по всем новым опорным значениям;

определены перспективы практического применения усовершенствованной модели воспроизведения и передачи единиц содержания компонентов в газовых и газоконденсатных средах, разработанной модели воспроизведения единицы молярной доли компонентов в чистых газах и газовых смесях с применением вторичных эталонов, а также удаленного метода аттестации эталонных установок;

создан ГПЭ единиц содержания компонентов в газовых и газоконденсатных средах, который осуществляет воспроизведение, хранение и передачу единиц содержания компонентов в газовых и газоконденсатных средах следующими способами:

– с применением ступенчатого способа приготовления гравиметрических газовых смесей с верификацией на каждой ступени, обеспечивающего увеличение количества опорных значений, в том числе за счет химически активных компонентов, в 10 раз, расширение диапазона воспроизведения единицы молярной доли компонентов от $1,5 \cdot 10^{-8} \%$ до $99,99999 \%$ с относительной расширенной неопределенностью воспроизведения $U_0 (k = 2)$ от $6,6 \%$ до $3,3 \cdot 10^{-6} \%$;

– с применением комплексной верификации для контроля стабильности воспроизведения единиц содержания компонентов ГПЭ, обеспечивающей уменьшение трудоемкости контроля в 2 раза;

представлены МИ 3690-2025 «Рекомендация. Государственная система обеспечения единства измерений. Вторичные эталоны – многофункциональные эталонные установки, обеспечивающие выпуск стандартных образцов состава газовых смесей 0-го разряда. Типовые требования к составу», МИ 3691-2025 «Рекомендация. Государственная система обеспечения единства измерений. Стандартные образцы состава газовых смесей, выпускаемые предприятиями-изготовителями. Методика контроля сопоставимости», МИ 3692-2025 «Рекомендация. Государственная система обеспечения единства измерений. Рабочие эталоны, обеспечивающие выпуск стандартных образцов состава газовых смесей в баллонах под давлением. Поэлементный метод аттестации», МИ 3693-2025 «Рекомендация. Государственная система обеспечения единства измерений.

Рабочие эталоны, обеспечивающие выпуск стандартных образцов состава газовых смесей. Метод аттестации с применением цифровой спектральной модели эталонов сравнения», обеспечивающие единство и требуемую точность измерений в области промышленного производства больших объемов стандартных образцов состава газовых смесей.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

для экспериментальных работ применялись комплексы эталонной аппаратуры из состава Государственного первичного эталона ГЭТ 154, реализующего разработанные на основе исследований методики и включающего в себя поверенные и калиброванные высокоточные средства измерений, а также поверенные и калиброванные средства измерений, входящих в состав эталонных установок предприятий - изготовителей стандартных образцов состава газовых смесей в баллонах под давлением;

теория построена на известных верифицированных принципах, согласующихся с рекомендациями международных метрологических организаций и современными тенденциями в направлениях исследования, проведенных в рамках работы;

идея базируется на анализе современных тенденций развития газоаналитических измерений с учетом международного и отечественного опыта;

использованы современные подходы к обоснованию, разработке и практической реализации методик воспроизведения и передачи единиц содержания более четырехсот определяемых компонентов в газовых и газоконденсатных средах с учетом растущей потребности в новых опорных значениях;

установлено, что корректность результатов исследований и установления метрологических характеристик ЭС и СО ГС в БД подтверждается успешным участием в 46 международных сличениях с положительным результатом, подтверждающих эквивалентность участвующих эталонов;

использованы современные подходы к обработке измерительной информации для оценки неопределенности результатов измерений.

Личный вклад соискателя состоит в постановке цели, разработке научной концепции создания устойчивой, способной к развитию системы метрологического обеспечения газоаналитических измерений промышленного производства больших объемов стандартных образцов газовых смесей, и разработке задач исследования, проведении анализа состояния и тенденций развития газоаналитических измерений с учетом

стратегии Консультативного Комитета по Количеству Вещества Международного Бюро Мер и Весов, а также с учетом социально-экономического развития РФ. Автором были разработаны требования к развитию системы обеспечения единства газоаналитических измерений, проведена систематизация всех видов газовых смесей в баллонах под давлением, проведена работа по делению на группы газовых смесей, учитывающих особенности физико-химических свойств более 400 компонентов и оптимальные методы их анализа. Автор лично принимал участие в совершенствовании ГПЭ, разработке методики проведения исследований, а также проведении расчетов и анализа всех полученных результатов экспериментов; разработке ЭС - СО состава газовых смесей и чистых газов, разработке требований к составу вторичных эталонов, обеспечивающих выпуск СО чистых газов и газовых смесей 0-го разряда. Также автор участвовал в разработке государственной поверочной схемы и разработал новую линию передачи от ЭС - СО чистых газов, СО чистых газов 0, 1-го разряда к СИ. Автор предложил и разработал новые методы аттестации рабочих эталонов, а также новый метод выходного контроля метрологических характеристик СО газовых смесей, изготовленных предприятиями – изготовителями. Вклад соискателя является первостепенным во всех главах диссертационной работы.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания:

- 1) Представленные в докладе результаты участия в международных сличениях ССQM-K120 «СО₂ в воздухе 380 $\mu\text{mol/mol}$ по парниковым газам» не отражают полноты исследований в рамках всех международных сличений, в которых участвовал эталон (46 международных сличений);
- 2) Недостаточно подробно пояснена процедура удаленной аттестации с применением цифровой спектральной модели эталона сравнения, в части контроля метрологических характеристик эталонного ИК-Фурье спектрометра;
- 3) Не раскрыто использование предложенного автором метода удаленной аттестации для эталонных установок другого принципа действия;
- 4) Указанный вклад источника неопределенности по определению количества ступеней приготовления гравиметрической газовой смеси

не был детализирован на источники неопределенности по каждой ступени приготовления газовой смеси;

- 5) Не отражен перечень нормативных документов, в соответствии с которыми осуществляется промышленный выпуск больших объемов стандартных образцов состава газовых смесей.

Соискатель Колобова А.В. ответила на задаваемые ей в ходе заседания вопросы и привела собственную аргументацию в ответах и их обоснования в части высказанных замечаний.

Диссертационный совет отмечает, что результаты исследования могут быть **использованы** в деятельности по обеспечению единства газоаналитических измерений в Российской Федерации во всех областях промышленности (металлургической, нефтегазовой, энергетикой и т.д.), экологии, медицины, обеспечения техногенной безопасности, санитарного контроля воздуха рабочей зоны, атмосферы населенных мест и др.

Диссертационный совет пришел к выводу о том, что диссертация Колобовой Анны Викторовны является законченной научно-квалификационной работой, соответствующей требованиям п. 9 документа «Положение о присуждении ученых степеней» (Постановление Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842 «О порядке присуждения ученых степеней» с изменениями на 16 октября 2024 года), предъявляемым к диссертационным работам на соискание ученой степени доктора технических наук, в которой решена **крупная научно-техническая проблема, имеющая важное хозяйственное значение** – по созданию устойчивой, способной к развитию системы метрологического обеспечения промышленного производства больших объемов СО состава газовых смесей, основанной на усовершенствованном ГПЭ, воспроизводящем и передающим единицы содержания более четырехсот определяемых компонентов в газовых и газоконденсатных средах, новых методах и средствах передачи единиц содержания компонентов от ГПЭ вторичным эталонам нового типа и эталонным установкам предприятий – изготовителей СО ГС в БД с применением нового метода их удаленной аттестации, а также на алгоритме, имитирующем выходной контроль метрологических характеристик стандартных образцов газовых смесей с применением специализированных многокомпонентных газовых смесей, учитывающая современные и перспективные потребности науки, промышленности и социальных сфер страны.

На заседании 18 ноября 2025 г. диссертационный совет принял решение присудить Колобовой А.В. ученую степень доктора технических наук за решение крупной научной проблемы, имеющей важное социально-экономическое и хозяйственное значение.

