

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по науке и
цифровому развитию

МГТУ им. Н.Э. Баумана

д.э.н., профессор

Дроговоз П.А.

«20» октября 2025 г.



ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию Колобовой Анны Викторовны
«Развитие системы метрологического обеспечения промышленного
производства больших объемов стандартных образцов состава газовых
смесей», представленной на соискание учёной степени доктора технических
наук по специальности

2.2.10. Метрология и метрологическое обеспечение

Актуальность темы диссертации

Диссертационная работа посвящена совершенствованию системы
метрологического обеспечения газоаналитических измерений в части:

- создания Государственного первичного эталона (ГПЭ) с целью
воспроизведения единиц содержания востребованных определяемых
компонентов в газовых и газоконденсатных средах;



- разработки новых подходов для передачи единиц содержания определяемых компонентов от ГПЭ к предприятиям-изготовителям стандартных образцов состава газовых смесей в баллонах под давлением (СО ГС в БД), обеспечивающих возможность увеличения объема выпуска СО ГС в БД и расширения их номенклатуры на действующих предприятиях и создание новых производств.

Актуальность избранной диссертантом темы обусловлена тем, что газоаналитические измерения являются одними из наиболее востребованных видов измерений состава веществ, причем интенсивное социально-экономическое развитие Российской Федерации приводит к увеличению потребности в средствах метрологического обеспечения газоаналитических измерений, как в традиционных для контроля газовых сред областях, так и для новых измерительных задач. Эти тенденции обуславливают постоянно растущий объем производства стандартных образцов газовых смесей при существенном расширении их номенклатуры. Возникают противоречия между возможностями существующей эталонной базы и растущей потребностью в СО ГС в БД с новыми опорными значениями на основе воспроизведения единицы содержания газовых компонентов. При этом постоянный рост выпуска СО ГС в БД и количество их выпускающих предприятий – изготовителей приводит к необходимости разработки новых методов передачи единиц от ГПЭ для обеспечения постоянно нарастающего объема выпуска СО ГС в БД.

Созданный ГПЭ единиц содержания компонентов в газовых и газоконденсатных средах позволил воспроизводить единицы содержания более 400 определяемых компонентов. Новые методы и средств передачи единиц содержания компонентов от ГПЭ позволили:

- сократить использование эталонов сравнения (ЭС) - СО ГС за счет их замены на СО ГС 0-го разряда, изготовленных путем воспроизведения единиц содержания компонентов на Вторичных эталонах;

- применить цифровую спектральную модель ЭС - СО ГС для удаленной аттестации эталонного ИК-Фурье спектрометра, обеспечивающей контроль МХ эталонной установки 1-го разряда и уменьшение количества ЭС - СО ГС;

- обеспечить выходной контроль МХ ГС в БД, общим объемом до 80 тысяч единиц, выпускаемых предприятиями-изготовителями с использованием разработанных специализированных многокомпонентных ГС.

Таким образом, для разрешения существующих противоречий в обеспечении единства измерений производства больших объемов СО ГС в БД проведен комплекс научных исследований, направленный на обеспечение совершенствования ГПЭ, методов и средств передачи единиц содержания компонентов эталонным установкам и разработки методов выходного контроля МХ СО ГС в БД. Результаты исследований, полученные Колобовой А.В., позволяют устранить несоответствия системы метрологического обеспечения промышленного производства больших объемов стандартных образцов состава газовых смесей современным требованиям научно-технического развития Российской Федерации, обеспечив тем самым технологический суверенитет страны в этой области.

В связи с этим тема диссертационной работы **Колобовой Анны Викторовны**, посвященная развитию системы метрологического обеспечения газоаналитических измерений, **является** своевременной и **актуальной**.

Общая характеристика работы

Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения, списка литературы, включающего 344 наименования, и приложений. Общий объем работы составляет 335 страниц машинописного текста, включая 33 рисунка, 52 таблицы, 4 приложения. Представленные материалы в полной мере характеризуют результаты исследования. Порядок изложения материала логичен и последователен, применяемая терминология, в основном, соответствует общепринятой. Объем рассмотренных литературных источников демонстрирует необходимую глубину анализа рассматриваемой научной проблемы. При использовании результатов работ других авторов в тексте

диссертации приведены соответствующие ссылки. Автореферат диссертации соответствует содержанию исследования, его теоретической и экспериментальной составляющим по основным научным положениям, содержанию опубликованных работ.

Во введении автор обосновывает актуальность темы работы, определяет ее цель и задачи, освещает методы и средства исследования, достоверность и обоснованность полученных в работе результатов, раскрывает научную новизну, теоретическую и практическую значимость результатов работы, формулирует основные научные положения, выносимые на защиту, приводит сведения об апробации результатов работы.

Первая глава посвящена исследованию развития газоаналитических измерений в Российской Федерации.

Проведенный автором содержательный анализ современного состояния газоаналитических измерений, позволил показать основные тенденции их развития как в международном аспекте, так и с учетом особенностей развития нашей страны. Анализ позволил выявить «узкие» места использования Государственного первичного эталона единиц содержания компонентов в газовых и газоконденсатных средах (ГЭТ 154) в свете появления новых измерительных газоаналитических задач и необходимости обеспечения прослеживаемости результатов измерений в условиях растущих объемов промышленного выпуска и расширения номенклатуры стандартных образцов состава газов в баллонах под давлением (СО ГС в БД).

Автором обоснована необходимость модернизации системы метрологического обеспечения газоаналитических измерений в стране в аспекте промышленного производства СО ГС в БД в условиях увеличения объема их выпуска и расширения номенклатуры.

Во второй главе представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований по совершенствованию воспроизведения единиц содержания компонентов в газовых и газоконденсатных средах.

Автором установлена зависимость неопределенности значений молярной доли и массовой концентрации определяемых компонентов в гравиметрических газовых смесях от количества стадий приготовления смесей, степени чистоты исходных веществ, характеристик состояния внутренней поверхности баллонов. Последний фактор является особенно важным при приготовлении СО ГС в БД химически активных веществ, склонных к хемосорбции.

Автором предложена структурно-операционная схема воспроизведения единиц содержания компонентов в газовых и газоконденсатных средах, для различных классов газообразных веществ (постоянные, инертные, химически активные газы).

Результаты теоретических исследований подкреплены экспериментальными данными при изготовлении эталонов сравнения – газовых смесей с различными определяемыми компонентами. Полученные данные позволили улучшить метрологические характеристики ГПЭ, как в части расширения диапазона воспроизведения единиц содержания компонентов в газовых и газоконденсатных средах, так и в части уменьшения расширенной неопределенности воспроизведения. Автором разработан алгоритм комплексной верификации состава газовых смесей с целью контроля стабильности воспроизведения единиц содержания целевых компонентов газовых смесей, который реализован в специализированном программном обеспечении ГПЭ.

В третьей главе представлены результаты совершенствования методов и средств передачи единиц содержания компонентов от ГПЭ к эталонным установкам предприятий - изготовителей, обеспечивающие существенное уменьшение используемых «технологических» и «контрольных» транспортируемых ЭС.

В соответствии с результатами анализа проблем, возникающими при приготовлении больших объемов стандартных образцов на предприятиях-изготовителях, автором предложены направления совершенствования методов и средств передачи единиц содержания компонентов от ГПЭ к эталонным

установкам предприятий. Были предложены вторичные эталоны (ВЭТ) нового типа, включающие эталонную аппаратуру для определения чистоты целевого компонента и газосмесительную аппаратуру, что обеспечивает использование ВЭТ для воспроизведения единицы молярной доли компонентов с целью выпуска стандартных образцов состава газовых смесей 0-го разряда. Такой подход в совокупности с предложенной автором физико-математической моделью передачи единицы содержания компонентов от ГПЭ к стандартным образцам газовых смесей, с учетом изготовления стандартных образцов и чистых газов 0-го разряда, позволил существенно уменьшить количество используемых транспортируемых эталонов сравнения.

Несомненно, к достоинству работы, следует отнести предложенный автором метод удаленной аттестации рабочих эталонов (РЭ) на основе ИК-Фурье спектрометра с применением цифровой спектральной модели эталонов сравнения для выпуска СО 1 и 2-го разрядов. В основу метода положено количественное сравнение параметров ИК-спектра пропускания смеси, изготовленной на ГПЭ, и измеренного с помощью ИК-Фурье спектрометра в составе ГПЭ со спектром пропускания смеси, изготовленной на РЭ, и измеренного с помощью ИК-Фурье спектрометра в составе РЭ. В работе были определены источники неопределенности значения молярной доли определяемого компонента в ГС и предложена модель расчета неопределенности, исключая инструментальную составляющую неопределенности измерений ИК-спектрометров. Показано, что внедрение этого метода исключает логистические проблемы, связанные с необходимостью физического перемещения эталонов сравнения в организации-изготовители для проведения процедур компарирования ГС, что в итоге сокращает издержки у производителей стандартных образцов.

В работе предложен еще один метод аттестации РЭ, связанный с возможностью внедрения в состав РЭ новых динамических газосмесительных установок, которые основаны на применении высокоточных кориолисовых регуляторов расхода газа, которые позволяют измерять малые значения

массового расхода с точностью от 0,1 г/ч. Проведенный расчет показателя расширенной неопределенности содержания целевого компонента в газовых смесях, приготовленных на такой установке, показал, что ее значение не превышает 1 %, что соответствует требованиям к СО состава ГС 1-ого разряда. Анализ бюджета неопределенности приготовления СО ГС на динамической установке с кориолисовыми расходомерами, проведенный автором, показал, что измерения массового расхода вносят преобладающий вклад в суммарную неопределенность. Это позволило автору предложить п поэтапную процедуру аттестации РЭ, которая включает только контроль регулятора массового расхода. В этом случае отпадает необходимость изготовления и использования при аттестации РЭ специальных контрольных ЭС - ГС в БД.

Рассмотрен вопрос проведения выходного контроля метрологических характеристик СО ГС в БД. Анализ процедуры выходного контроля на предприятиях-изготовителях СО ГС в БД показал, что в отличие от средств измерений, для СО метрологический контроль осуществляется только на уровне ГПЭ в форме первичной и периодической аттестации ЭУ предприятий-изготовителей. С другой стороны, сплошной контроль всей номенклатуры СО ГС в БД на предприятии практически невозможен в связи с большими трудозатратами и финансовыми издержками. В этих условиях, автором предложена процедура, моделирующая 100 %-ый выходной контроль СО ГС для двух наиболее массовых групп ГС, выпускаемых предприятиями-производителями – СО ГС в БД, относящимися к группам инертных и постоянных газов, объем выпуска которых составляет примерно $\frac{3}{4}$ от общего объема СО ГС в БД. Процедура изложена в нормативно-техническом документе МИ 3691-2025, разработанном в рамках выполнения настоящей работы. Суть процедуры заключается в приготовлении специализированных ГС для каждой группы ГС – контрольных образцов, состав которых соответствует составу ГС, выпускаемых большинством предприятий. Далее эти смеси аттестуются на РЭ предприятий и проверяются с помощью эталонного оборудования ГЭТ 154. Такая процедура позволяет с помощью небольшого

количества специализированных ГС осуществлять контроль МХ СО в рамках всей группы ГС.

В главе проведен анализ степени критичности состояния готовности предприятий-изготовителей ГС в БД в Российской Федерации к расширению номенклатуры и количеству выпускаемых СО с целью получения информации для развития предприятий – изготовителей ГС в БД в соответствии с ГОСТ Р 51901.12-2007.

Четвертая глава посвящена результатам международных ключевых сличений с 2010-2025 гг., подтверждающих высокий уровень и достоверность измерений с помощью ГПЭ нового поколения при анализе газовых смесей различной природы и назначения.

По результатам сличений, проводившимся в период с 2010 по 2025 гг., в базу данных измерительных и калибровочных возможностей (СМС) в области газового анализа Международного бюро по мерам и весам было внесено около 300 позиций, таким образом, на начало 2025 года Российская Федерация по количеству СМС в области газового анализа занимает 1 место в мире.

В заключении представлены основные выводы и результаты работы.

В приложениях приведены протоколы исследования метрологических характеристик ГПЭ, Сертификат соответствия программного обеспечения для расчета бюджета неопределенности значений молярной доли компонентов первичных эталонных гравиметрических смесей, Протоколы контроля стабильности воспроизведения на ГПЭ единицы молярной доли компонентов газовых смесей методом комплексной верификации, 4 акта о внедрении результатов диссертационной работы.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, их достоверность и новизна

На основе анализа современного состояния и перспективных направлений развития газоаналитических измерений в стране автор

обоснованно и корректно сформулировал цель и взаимосвязанные задачи исследований.

Исследования проводились с использованием теоретических основ метрологии в области измерений состава веществ, с применением современных инструментальных физико-химических методов, методов компьютерного моделирования и статистической обработки экспериментальных данных. Данный подход является обоснованным и методически правильным.

В процессе исследований автором были получены следующие **результаты:**

1 Проведен анализ развития газоаналитических измерений в Российской Федерации, в результате которого выявлены противоречия, несоответствия и недостатки существующей системы метрологического обеспечения газоаналитических измерений в части разработки, производства и применения СО ГС в БД и чистых газов (ЧГ) в БД для обеспечения потребности промышленности, науки и социальных сфер, что позволило сформулировать цель и задачи исследований.

2 На основе разработки и анализа физико-математической модели воспроизведения единиц содержания компонентов в газовых и газоконденсатных средах создан ГПЭ нового поколения, обеспечивающий увеличение комплекса опорных значений, расширение диапазона воспроизведения единиц содержания определяемых компонентов от $1,5 \cdot 10^{-8} \%$ до $99,99999 \%$ с улучшенной в более чем в 2 раза относительной расширенной неопределенностью U_0 при $k=2$ от $6,6 \%$ до $3,3 \cdot 10^{-6} \%$ и изготовлены 14 типов Эталонов сравнения (ЭС) – СО ГС в БД, соответствующих всем 9 группам газовых смесей, охватывающим 400 определяемых компонентов.

3 Разработан метод комплексной верификации для контроля стабильности воспроизведения единиц содержания компонентов ГПЭ, позволяющий уменьшить трудоемкость контроля в 2 раза с применением разработанной программы GasGravi для ЭВМ (РИД Свидетельство № 2024684605).

4 Разработаны физико-математическая модель передачи единицы молярной доли компонентов от ГПЭ к ВЭТ нового поколения и новые методы, обеспечивающие возможность рационализации передачи единиц молярной доли за счет существенного уменьшения количества «технологических» и «контрольных» транспортируемых ЭС путем их замены на СО ГС 0-го разряда, которые получают в результате воспроизведения единицы молярной доли на ВЭТ нового поколения и приведения единицы молярной доли компонентов в ЧГ к ГПЭ с помощью впервые разработанных 14 типов ЭС - СО ЧГ с нормированным комплексом примесных компонентов.

5 Осуществлено внедрение трех ВЭТ нового поколения, соответствующие требованиям МИ 3690-2025 позволяющих уменьшить выпуск «технологических» транспортируемых ЭС – СО ГС в 3 раза за счет их замены на СО ГС 0-го разряда.

6 Разработаны предложения по дополнению Государственной поверочной схемы новой линией передачи от ЭС – СО ЧГ, СО ЧГ 0 и 1-го разрядов к СИ.

7 Разработан метод удаленной аттестации эталонных установок (ЭУ) для получения СО ГС 1 и 2-го разрядов, содержащих химически активные определяемые компоненты, имеющих спектр поглощения в инфракрасной области спектра, без использования «контрольных» транспортируемых ЭС - СО ГС за счет применения их цифровых спектральных моделей.

8 Предложен метод выходного контроля метрологических характеристик (МХ) каждого производимого СО ГС в БД с применением разработанных двух специализированных многокомпонентных ГС, позволяющих распространить результаты выходного контроля МХ ГС в БД, на СО ГС в БД общим объемом до 80 тыс. единиц, выпускаемых предприятиями-изготовителями.

9 Разработаны показатели уровня критичности состояния готовности предприятий-изготовителей СО ГС в БД в РФ к расширению номенклатуры и количества выпускаемых СО. Определены предприятия – изготовители с максимальной и минимальной критичностью выпуска СО. На основе

полученных данных разработан план мероприятий по совершенствованию производств СО ГС в БД в Российской Федерации до 2036 г.

10 Доказана эквивалентность ГПЭ национальным эталонам национальных метрологических институтов (НМИ) зарубежных стран мира путем участия в 46 международных сличениях под эгидой Консультативного Комитета Количества Вещества (КККВ) Международного бюро мер и весов (МБМВ) по измерительной категории «Газы», подтверждающие адекватность физико-математических моделей и достоверность воспроизведения и передачи единиц содержания компонентов в газовых и газоконденсатных средах с помощью ГПЭ нового поколения. На начало 2025 г. Российская Федерация занимает первое место в мире по количеству позиций калибровочных и измерительных возможностей по измерительной категории «Газы» – опубликовано 371 позиция СМС.

Достоверность и обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций определяется корректностью постановки задач исследований; применением теоретически и экспериментальной обоснованных моделей; результатами экспериментальных исследований, в том числе в рамках международных сличений и при производстве СО ГС в БД, и их сходимостью с результатами теоретического анализа; признанием основных положений диссертации широким кругом специалистов при апробировании материалов исследований на российских и международных конференциях, форумах и заседаниях, а также внедрением результатов исследований.

Научная новизна результатов диссертации заключается в следующем:

1 Разработана физико-математическая модель воспроизведения единиц содержания компонентов в газовых и газоконденсатных средах за счет установления зависимости неопределенности значений молярной доли и массовой концентрации определяемых компонентов в гравиметрических газовых смесях от количества ступеней приготовления с верификацией на каждой ступени приготовления, а также от определения чистоты химически

активных компонентов на первой ступени приготовления, оценки пассивации баллонов, пересчета молярной доли в массовую концентрацию, что позволило расширить диапазон воспроизведения единиц молярной доли и массовой концентрации компонентов, применить ее для химически активных определяемых компонентов.

2 Разработан и применен алгоритм, реализованный в программном обеспечении «GasGravi» для ЭВМ, обеспечивающий контроль стабильности воспроизведения единиц содержания компонентов ГПЭ путем получения необходимой информации за счет независимых воспроизведений при изготовлении не менее двух ЭС хэс, включающих все процедуры на каждой многофункциональной эталонной установке и оценку результатов по критерию сопоставимости ЭС с расширенной неопределенностью ЭС при $k = 2$.

3 Разработана физико-математическая модель процессов передачи единицы молярной доли компонентов от ГПЭ к ЭУ предприятий - изготовителей на основе воспроизведения единицы молярной доли компонентов в чистых газах и газовых смесях вторичными эталонами и приведения единицы молярной доли компонентов в ЧГ к ГПЭ с помощью впервые разработанных контрольных ЭС - СО ЧГ с нормированным комплексом примесных компонентов, что обеспечивает исключение применения так называемых технологических транспортируемых ЭС - СО ГС.

4 Разработан метод удаленной аттестации эталонных установок для получения СО ГС 1 и 2-го разрядов, содержащих химически активные определяемые компоненты, имеющих спектр поглощения в инфракрасной области спектра, без использования контрольных транспортируемых ЭС - СО ГС за счет применения их цифровых спектральных моделей.

5 Разработаны специализированные многокомпонентные ГС, в состав которых входят все компоненты конкретной группы ГС (инертные и постоянные газы), позволяющие осуществлять на предприятиях - изготовителях выходной контроль МХ каждой ГС в БД данной группы.

Теоретическая ценность научных результатов диссертации характеризуется тем, что разработанные модели расширяют возможности повышения точности и достоверности газоаналитических измерений, вносят вклад в развитие теоретических основ и совершенствование высокоточных измерений состава газовых сред различной химической природы и назначения.

Практическая значимость выполненной диссертационной работы заключается в повышении эффективности функционирования ГПЭ в результате реализации предложенных новых методов и средств воспроизведения и передачи единиц содержания компонентов в газовых смесях, в частности метода комплексной верификации состава газовых смесей с целью контроля стабильности воспроизведения единиц, который реализован в специализированном программном обеспечении ГПЭ. Эти решения позволили в 2 раза уменьшить трудоемкость контроля состава ГС.

Предложенные новые типы вторичных эталонов содержания компонентов в газовых смесях, включающие эталонную аппаратуру для определения чистоты целевого компонента и газосмесительную аппаратуру, которые обеспечивают воспроизведение единицы молярной доли компонентов при выпуске стандартных образцов газовых смесей 0-го разряда.

Разработан нормативно-технический документ 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», внедрение которого на 3-х крупнейших предприятиях изготовителей позволила уменьшить выпуск ЭС - СО ГС в 3 раза за счет их замены на СО ГС 0-го разряда. Такой подход позволил примерно в три раза уменьшить количество используемых транспортируемых эталонов сравнения, что снизило нагрузку на ГЭТ 154.

Разработаны методики первичной и периодической аттестации 35 эталонов, функционирующих на предприятиях – изготовителях.

Разработана и внедрена в практику Государственная поверочная схема для средств измерений содержания компонентов в газовых и газоконденсатных средах (Приказ Росстандарта № 2315 от 31.12.2020 г.).

По результатам участия в 46 международных сличениях под эгидой КККВ – метрология в химии и биологии МБМВ по измерительной категории «Газы», внесено в базу данных МБМВ около 300 позиций калибровочных и измерительных возможностей Российской Федерации, которые подтверждают эквивалентность ГПЭ национальным эталонам зарубежных стран и позволяют обеспечить всемирное признание результатов измерений и калибровок, прослеживаемых к ГПЭ, для снижения барьеров в мировой торговле.

Вместе с тем, исходя из анализа содержания текста диссертации и автореферата, диссертационная работа содержит **ряд недостатков и замечаний:**

1. В работе автор применяет термин «приведение единицы величины». На наш взгляд достаточно использовать термины «передача единицы величины» и «прослеживаемость» согласно Федеральному Закону от 26.06.2008 № 102-ФЗ (ред. от 08.08.2024) «Об обеспечении единства измерений».

2. В диссертации и автореферате в таблице сопоставимости метрологических характеристик ГПЭ метрологическим характеристикам национальных эталонов разных стран мира не указаны исходные национальные эталоны других стран мира и не понятно, как было проведено сравнение МХ.

3. В таблице 3.17 диссертации представлены результаты контроля метрологических характеристик СО ГС в БД путем исследований значений молярной доли определяемых компонентов в специализированных ГС от разных предприятий – производителей. Не рассмотрен случай, когда предприятие - изготовитель не изготавливает ГС со всеми определяемыми компонентами из специализированной ГС и как в таком случае осуществляется контроль и сопоставимость ГС.

4. В таблице 3.9 диссертации представлены результаты опробования цифровой модели, используемой для проведения удаленной аттестации ЭУ на базе ИК Фурье спектрометра с применением ГС на основе NO. Отсутствуют результаты опробования на других видах ГС, а также отсутствует информация, какие модели ИК Фурье спектрометром использовались при опробовании цифровой модели.

5. В работе автор указал, что ЭС –СО ЧГ разработаны с целью приведения единиц молярной доли компонентов в СО - ЧГ 0-го разряда, изготовленных на ВЭТ, к ГПЭ. Не рассмотрено применение разработанных ЭС - СО ЧГ для решения других задач в рамках метрологического обеспечения газоаналитических измерений.

6. Некоторые термины используются некорректно. Например, термин «абсорбция», определяющий взаимодействие химически активных веществ с внутренней поверхностью баллона, поскольку по общепринятой классификации взаимодействие вещества с твердой поверхностью – это вид адсорбции. Также вызывает сомнение использование термина «пассивация» для обозначения процесса хемосорбции химически активных веществ с материалом баллона. Обычно под пассивацией металлических поверхностей понимают снижение скорости их коррозии при образовании на поверхности фазовых или адсорбционных слоев [см. ГОСТ 9.106-2021].

7. Распространяется ли уверенность в качестве исследований при контроле одной-двух смесей для контроля всей номенклатуры газовых смесей 80 тыс. единиц на все компоненты внутри группы?

Вместе с тем, приведенные замечания не снижают научной ценности и практической значимости выполненной автором работы, а носят рекомендательный характер.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертационного исследования

Результаты диссертационного исследования Колобовой А.В. могут быть рекомендованы для использования во ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева» при работах, связанных с участием ГПЭ в новых международных сличениях, при дальнейшем совершенствовании метрологического обеспечения газоаналитических измерений в Российской Федерации, на предприятиях – изготовителях СО ГС в БД при выпуске ГС в БД, в том числе на предприятиях ПАО «Газпром», региональных центрах стандартизации, метрологии и испытаний, приборостроительных предприятиях и т.д. при работах, связанных с изготовлением СО ГС в БД.

Соответствие содержания диссертации паспорту специальности

По поставленным цели, задачам и содержанию исследований, а также полученным результатам, диссертационная работа Колобовой А.В. соответствует паспорту специальности «2.2.10. Метрология и метрологическое обеспечение» по пунктам: 5 - Совершенствование системы обеспечения единства измерений и метрологической инфраструктуры страны, 7 - Разработка и внедрение новых государственных эталонов единиц измерений величин, позволяющих существенно повысить единство и точность измерений, 8 - Создание и совершенствование системы метрологического обеспечения приборостроения, в том числе цифровых технологий.

Полнота опубликованных результатов работ

По материалам диссертационной работы опубликованы 40 научных работ, из них: 14 в изданиях, включенных в перечень рецензируемых журналов, рекомендованных ВАК, 22 в изданиях, индексируемых в международной

библиографической базе Scopus, количество монографий – 4, получен 1 патент, получено 1 свидетельство о регистрации программы для ЭВМ.

Личное участие автора в получении результатов диссертации

Автор в полной мере обосновал необходимость развития системы метрологического обеспечения промышленного производства больших объемов стандартных образцов состава газовых смесей путем совершенствования ГПЭ, разработки новых подходов по передаче единицы от ГПЭ к СО ГС в БД, а также обеспечения выходного контроля МХ СО ГС в БД.

Автор лично разработал требования и провел теоретические и экспериментальные исследования по созданию ГПЭ нового поколения, обеспечивающего воспроизведение единиц содержания компонентов, охватывающих все основные определяемые компоненты, в том числе химически активные и углеводородные компоненты. Автором лично разработан алгоритм исследования стабильности воспроизведения единиц содержания компонентов (Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2024684605). Автор лично провел расчеты и интерпретацию всех полученных результатов экспериментов, выполнил оценку неопределенности измерений. Автор непосредственно принимал участие в совершенствовании ГПЭ, разработке Государственной поверочной схемы, разработке ЭС - СО ГС и ЧГ в количестве 28 штук.

Автором лично были разработаны требования к составу вторичных эталонов, обеспечивающих выпуск СО ЧГ и ГС 0-го разряда, методики аттестации вторичных и рабочих эталонов, а также проведены соответствующие расчеты и анализ всех полученных результатов экспериментов. Автор лично разрабатывал программы работ для участия в 46 международных сличениях, проводил анализ всех полученных результатов сличениях и расчетов неопределенности измерений и принимал участие в составлении отчетов сличений.

Представленные в работе исследования достоверны, выводы и рекомендации обоснованы.

Заключение

Диссертационная работа Колобовой Анны Викторовны «Развитие системы метрологического обеспечения промышленного производства больших объемов стандартных образцов состава газовых смесей» является законченной научно-квалификационной работой и выполнена на высоком научном уровне, позволяя решить крупную научно-техническую проблему устранения несоответствий системы метрологического обеспечения промышленного производства больших объемов стандартных образцов состава газовых смесей современным требованиям научно-технического развития Российской Федерации.

Работа представляет собой законченное научное исследование с новыми научными результатами и практическими рекомендациями. В ней изложена совокупность научно обоснованных технических задач, подтвержденных результатами практического внедрения. Текст автореферата соответствует содержанию диссертационной работы и в достаточной степени раскрывает результаты исследований.

Приведенные замечания не снижают научной ценности и практической значимости выполненной работы. Результаты диссертации достаточно полно отражены в изданиях, рекомендованных перечнем ВАК РФ, монографиях и индексируемых в базе данных Scopus. Представленные в работе теоретические и практические результаты позволяют заключить, что рассматриваемая диссертация отвечает требованиям п.9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденном постановлением правительства Российской Федерации №842 от 24.09.2013, а ее автор Колобова Анна Викторовна заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности «2.2.10. Метрология и метрологическое обеспечение».

Отзыв на диссертацию и автореферат обсужден и одобрен на заседании кафедры «Метрология и взаимозаменяемость» МГТУ им. Н.Э. Баумана 17.09.2025, Протокол № 04.30-04/17.

Заведующий кафедрой

«Метрология и взаимозаменяемость»

МГТУ им. Н.Э. Баумана

Д.т.н., доцент



16.10.2025

Комшин А.С.

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)»

Адрес: 105005, г. Москва,

ул. 2-я Бауманская, д. 5, с. 1

e-mail: komshin@bmstu.ru

Тел.: +7(499)263-66-33, доб. 4075

Подпись д.т.н., доцента, заведующего кафедрой Комшина Александра Сергеевича заверяю:



СПЕЦИАЛИСТ ПО ПЕРСОНАЛУ
ОТДЕЛА КАДРОВОГО
АДМИНИСТРИРОВАНИЯ
ХОДЫКИНА Л.Д.



Сведения о ведущей организации

по диссертации Колобовой Анны Викторовны на тему «Развитие системы метрологического обеспечения промышленного производства больших объемов стандартных образцов состава газовых смесей», представленной на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.2.10 «Метрология и метрологическое обеспечение».

Полное название организации	Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)»
Ведомственная принадлежность	Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Наименование структурного подразделения	Кафедра «Метрология и взаимозаменяемость»
Тип организации	Образовательная организация высшего образования
Адрес организации	105005, г. Москва, вн. тер. г. муниципальный округ Басманный, ул. 2-я Бауманская, д. 5, с. 1
Телефон	+7 (499) 263 63 91
Адрес электронной почты	bauman@bmstu.ru

Список основных публикаций сотрудников организации в рецензируемых научных изданиях по теме диссертации за последние 5 лет (5 – 15 публикаций)

1. Болдасов Д.Д., Дроздова Ю.В., Комшин А.С., Сырицкий А.Б. Применение нейронных сетей для обработки фазохронометрической измерительной информации // Измерительная техника. 2020. №9. С.31 – 35.
2. Потапов К.Г., Комшин А.С., Сырицкий А.Б. Перспективы использования нейронных сетей в фазохронометрии // Станкоинструмент, №1, 2021. С. 60-63.
3. Хабаров, С. С. Применение волоконно-оптической измерительной технологии и фазохронометрического метода для контроля и мониторинга технического состояния конструкций летательных аппаратов / С. С. Хабаров, А. С. Комшин // Измерительная техника. – 2021. – № 2. – С. 49-56. – DOI 10.32446/0368-1025it.2021-2-49-56.
4. Комшин А.С., Пронякин В.И. Качество изделий машиностроения и метрологическое обеспечение оценки соответствия продукции в производстве // Станкоинструмент, №4, 2024. С. 68-77.
5. Левин С.Ф. Измерительные задачи оценивания соответствия в инфраструктуре качества // Измерительная техника. 2025. №1. С.63 – 76.
6. Левин С.Ф. Погрешность - число, параметр или распределение вероятностей // Измерительная техника. 2024. №7. С.14 – 22.

7. Пронякин В.И. О некоторых проблемах метрологического обеспечения в промышленности // Законодательная и прикладная метрология. 2021. №4. С.17 – 22.
8. Скрипка В.Л., Сеница М.О. Геометрический аспект потенциальной точности измерений // Приборы. 2023. № 5 (275). С. 34-38.
9. Сычев В.В., Клем А.И. Метод оптимизации погрешностей волнового фронта регистрируемого излучения для крупногабаритных информационно-измерительных оптических систем // Измерительная техника. 2021. № 2. С. 57-61.
10. Чуев А.С. Системные и математические соотношения квантуемых и константных физических величин (окончание в следующем номере) // Мир измерений. 2021. № 4. С. 44-47.
11. Семенов В. Ю. Примеры энтропийно-статистического анализа малотоннажных установок ожижения природного газа : учебное пособие / Семенов В. Ю., Архаров И. А., Смородин А. И. // МГТУ им. Н. Э. Баумана (национальный исследовательский ун-т). - 2-е изд. - Москва : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2023 - 44 с.
12. Семенов В. Ю. Методика энтропийно-статистического анализа малотоннажных установок ожижения природного газа : учебно-методическое пособие / Семенов В. Ю., Архаров И. А., Смородин А. И. // МГТУ им. Н. Э. Баумана (национальный исследовательский ун-т). - 2-е изд., испр. - Москва : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2022 - 18с.
13. Итерационный метод определения параметров процесса выхлопа / И. А. Архаров, А. И. Смородин, В. Ю. Семенов [и др.] // Вестник Международной академии холода. – 2024. – № 3. С. 84-92. DOI 10.17586/1606-4313-2024-23-3-84-92.
14. Быков, Н. В. Влияние уширения газового ресивера на баллистические характеристики одноступенчатых установок на сжатом газе / Н. В. Быков, И. Е. Шестаков // Журнал технической физики. – 2020. – Т. 90, № 3. – С. 365-371. – DOI 10.21883/JTF.2020.03.48918.278-19.
15. Экспериментально-расчетное изучение действия водородно-кислородной смеси на зонд в баллистической установке / М. Ю. Сотский, Н. В. Быков, В. А. Велданов, И. Е. Шестаков // Материалы XIII Международной конференции по прикладной математике и механике в аэрокосмической отрасли (АММАИ'2020), Алушта, 06–13 сентября 2020 года. – Москва: Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), 2020. – С. 445-447.
16. Усцов, А. А. Моделирование и экспериментальное исследование процесса вакуумной откачки паров жидкого азота / А. А. Усцов, М. Ю. Куприянов // Вестник Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана. Серия Машиностроение. – 2020. – № 4(133). – С. 95-108. – DOI 10.18698/0236-3941-2020-4-95-108.

Заведующий кафедрой
«Метрология и взаимозаменяемость»,
доктор технических наук, доцент


подпись

Комшин А.С. /
расшифровка подписи

Проректор по науке и цифровому
развитию, доктор экономических наук,
профессор


подпись

Дроговоз П.А./
расшифровка подписи

