

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор
ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева»

Пронин А.Н.

2025 г.



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д.И. Менделеева»

Диссертация «Вторичная реперная точка международной температурной шкалы на основе тройной точки диоксида углерода»

В период подготовки диссертации соискатель Бекетов Николай Александрович Работал в ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева» в должности руководителя группы и являлся помощником учёного хранителя Государственного первичного эталона единицы температуры в диапазоне от 0 до 3200 °С.

В 2015 г. окончил Санкт-Петербургский Национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики по специальности теплофизика

Удостоверение или справка об обучении, содержащие информацию о сдаче кандидатских экзаменов, выдано в 2025 г. Федеральным государственным унитарным предприятием «Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д.И. Менделеева»

Научный руководитель (консультант) – Походун Анатолий Иванович, доктор технических наук, профессор, руководитель отдела эталонов и научных исследований в области термодинамики федерального государственного унитарного предприятия Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д.И. Менделеева

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

Личное участие соискателя учёной степени в получении результатов, изложенных в диссертации

Автором самостоятельно поставлены цели и задачи диссертационного исследования, проведен анализ публикаций, документов Консультативного комитета по термометрии и др., в том числе проведен анализ результатов ключевых и региональных сличений с применением реперной точки ртути на основе чего были определены целевые показатели. Автором выполнен обзор публикаций результатов экспериментальных исследований веществ-кандидатов, на основе чего автором был выбран диоксид углерода (CO₂) в качестве альтернативы ртути.

Автором проведено научное обоснование о форме распределение вещества в ампуле для реализации температуры тройной точки диоксида углерода (ТТСО₂) в зависимости от метода заморозки ампулы. Автором проведено научное обоснование возможности воспроизведения ТТСО₂ в ампулах пригодных для градуировки стержневых ЭТС с расширенной неопределенностью ($k = 2$) не хуже, чем воспроизведение температуры тройной точки ртути.

Автором лично проведены экспериментальные исследования, подтверждающие теоретические основы и проведенное моделирование фазовых переходов. Автором проведен

анализ полученных экспериментальных результатов с составлением бюджета неопределённости воспроизведения и измерения температуры T_{TCO_2} . Автором установлено значение температуры T_{TCO_2} в соответствии с МТШ-90 и значение термодинамической температуры T_{TCO_2} .

Автором разработаны и обоснованы основные положения методики передачи единицы температуры в диапазоне от минус 189,3442 °С до 0,01 °С в соответствии с МТШ-90 с применением ампулы тройной точки диоксида углерода, которые были применены при аттестации Государственного рабочего эталона единицы температуры 0-го разряда.

Степень достоверности результатов, проведённых соискателем учёной степени исследований

Достоверность научных результатов, полученных в диссертационной работе, базируется на адекватности применённой математической модели измерений, корректной инструментальной реализации T_{TCO_2} , а также подтверждением прослеживаемости использованного в исследованиях Государственного вторичного эталона единицы температуры в диапазоне значений от 83,8058 К до 273,16 К (от минус 189,3442 °С до 0,01 °С), включающего в себя поверенные или калиброванные средства измерений, прослеживающиеся к Государственному первичному эталону ГЭТ 35–2021.

Кроме того, основные положения диссертационной работы и её отдельные результаты были представлены, обсуждены и одобрены на 4 международных и всероссийских конференциях.

Новизна и практическая значимость результатов, проведённых соискателем учёной степени исследований

1. Разработана физико-математическая модель распределения уровня CO_2 в ампуле, учитывающая метод наморозки, направление фронта затвердевания и непрерывность понижения уровня вещества в связи с повышением плотности при переходе из жидкой фазы в твердую фазу, позволяющая рассчитать необходимое количество вещества при изготовлении ампул, распределение температуры в термометровом канале и определить протяженность плато плавления при воспроизведении тройной точки CO_2 .

2. На основе разработанной физико-математической модели обоснован и составлен бюджет неопределенности воспроизведения температуры тройной точки CO_2 и подтверждено, что расширенная неопределенность ($k = 2$) воспроизведения тройной точки CO_2 не превышает аналогичной характеристики для реперной точки ртути.

3. Установлено значение температуры тройной точки CO_2 в соответствии с МТШ-90 для доли расплавленного вещества $F = 1$ и приписываемая этому значению неопределенность, которые подтверждены сравнением с результатами исследований зарубежных национальных метрологических институтов.

4. Установлено значение термодинамической температуры T_{TCO_2} : $T_{\text{CO}_2} = 216,59533$ К с расширенной неопределенностью ($k = 2$) $U_T = 1,031$ мК.

Практическая значимость диссертационной работы заключается в следующем:

1. Реализована T_{TCO_2} для градуировки стержневых ЭТС, позволяющая отказаться от реперной точки ртути при обеспечении единства измерений единицы температуры в диапазоне от минус 189,3442 °С до 0,01 °С.

2. Уменьшена в 2 раза стандартная неопределенность, обусловленная градуировочной характеристикой стержневых ЭТС при применении ампулы для реализации ТТСО₂ взамен реперной точки ртути.

3. Созданы методические основы сличения ампул для реализации ТТСО₂ и градуировки стержневых ЭТС и обеспечения единства измерений единицы температуры в диапазоне от минус 189,3442 °С до 0,01 °С.

Научная специальность, которой соответствует диссертация

Диссертация полностью соответствует специальности 2.2.10 «Метрология и метрологическое обеспечение».

Полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных соискателем учёной степени

Содержание диссертации достаточно полно представлено в опубликованных автором работах. По теме диссертации опубликовано 9 научных работ, в том числе, 5 статей в рекомендованных ВАК рецензируемых научных изданиях, 4 в сборниках трудов международных и российских конференций.

Публикации в изданиях, включённых в перечень научных журналов ВАК

1. Походун, А. И. Новое определение единицы температуры и продление жизни международной температурной шкалы, Законодательная и прикладная метрология / А. И. Походун, Н. А. Бекетов // Законодательная и прикладная метрология. – 2022. – Т. 4. – № 178. – С. 13-16.

2. Modernization of the International Temperature Scale ITS-90: triple point of carbon dioxide instead of triple point of mercury / V. M. Okladnikov, S. P. Polunin, N. A. Beketov, A. I. Pokhodun // Izmeritel'naya Tekhnika. – 2022. – Modernization of the International Temperature Scale ITS-90. – № 7. – С. 54-57. – DOI 10.32446/0368-1025it.2022-7-54-57.

3. Beketov, N. A. Triple point of carbon dioxide: using a new calibration point of the International Temperature Scale ITS-90 / N. A. Beketov // Izmeritel'naya Tekhnika. – 2024. – Triple point of carbon dioxide. – № 3. – С. 26-30. – DOI 10.32446/0368-1025it.2024-3-26-30.

4. Оптимизация режима реализации тройной точки углекислого газа в ячейке для длинностержневых термометров сопротивления / Б. Г. Потапов, А. А. Петухов, Я. Е. Ражба [и др.] // Альманах современной метрологии. – 2024. – Т. 37. – № 1. – С. 80-90.

5. Бекетов Н.А., Фуксов В.М., Влияние разницы плотности жидкой и твердой фаз на реализацию фазового перехода, Мир измерений. 2025. [подготовлено к публикации в № 2]

Публикации в остальных изданиях

1. Сборник тезисов докладов I Всероссийская научно-практическая конференция молодых ученых и специалистов «ЗА НАМИ БУДУЩЕЕ» к 180-летию ВНИИМ им. Д.И. Менделеева, 8 – 10 июня 2022 года, Санкт-Петербург, — 73 с. — ISBN 978-5-6047731-4-7

2. Сборник тезисов докладов II Международной научно-практической конференция молодых ученых и специалистов «ЗА НАМИ БУДУЩЕЕ», 14–16 июня 2023 года, Екатеринбург, — 160 с. — ISBN 978-5-91258-499-2

3. Сборник тезисов III Международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов «ЗА НАМИ БУДУЩЕЕ», 11–14 июня 2024 года, Санкт-Петербург, — 41 с. — ISBN 978-5-6052130-0-0

4. Сборник докладов международной научно-технической конференции «Метрология 2024», 9-10 апреля 2024 года, Минск, - 362 – ISBN 978-985-6726-82-1

Диссертация «Вторичная реперная точка международной температурной шкалы на основе тройной точки диоксида углерода» Бекетова Николая Александровича рекомендуется к защите на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.2.10 «Метрология и метрологическое обеспечение».

Заключение принято на заседании секции термодинамики Учёного Совета «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева» от «20» марта 2025 года.

Присутствовало на заседании 7 человек, из них с правом решающего голоса - 7 человек. Результаты голосования: «за» - 7 человек, «против» - 0 человек, «воздержавшихся» - 0 человек, протокол № 2 от «20» марта 2025 года.

Председатель секции Ученого Совета

 А.И. Походун

Секретарь

 В.М. Фуксов





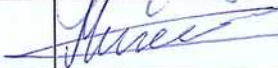




ЯВОЧНЫЙ ЛИСТ

членов Ученого совета ФГУП «ВНИИМ им. Д.И.Менделеева»

Протокол № 2

20.03.2025 г.

№№ п/п		Должность в Совете	Ученая степень и звание	Явка на заседание (подпись)
1	Походун А.И.	председатель	д.т.н.	
2	Фуксов В.М.	секретарь секции	к.т.н.	
3	Герасимов С.Ф.	член секции	к.ф.-м.н.	
4	Корчагина Е.Н.	член секции	к.т.н.	-
5	Кулагин В.И.	член секции	к.т.н.	-
6	Матвеев М.С.	член секции	к.т.н.	
7	Михеев В.А.	член секции	к.т.н.	
8	Моисеева Н.П.	член секции	к.т.н.	
9	Сильд Ю.А.	член секции	к.т.н.	

Секретарь секции Ученого совета



В.М.Фуксов

