

ОКПО: 02567567

ОГРН: 1035008854341

00116593
ИНН/КПП: 5044000102/504401001

п/о Менделеево, Солнечногорский р-н,
Московская обл., 141570

тел.: (495) 526 63 63; факс: (495) 660 00 92;
e-mail: office@vniiftri.ru

№ _____

На _____ от _____

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор
Федерального государственного
унитарного предприятия
«Всероссийский научно-
исследовательский институт физико-
технических и радиотехнических
измерений» (ФГУП «ВНИИФТРИ»),
д.т.н., профессор



С.И. Донченко

« 28 » 07 2025 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации о диссертации Бекетова Николая Александровича на тему «Вторичная реперная точка международной температурной шкалы на основе тройной точки диоксида углерода», представленной на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.2.10 «Метрология и метрологическое обеспечение»

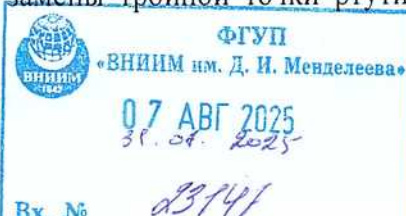
На основании рассмотрения и обсуждения диссертации и автореферата диссертации на секции № 3 Ученого Совета ФГУП «ВНИИФТРИ» сделаны следующие заключения и выводы

1. Актуальность избранной темы диссертации

Актуальность темы диссертации обусловлена необходимостью уменьшения погрешности градуировки и поверки термометров в практически значимом и востребованном диапазоне температур от минус 189,3442 до 0,01 °С. Одной из основных реперных точек в этом диапазоне температур является тройная точка ртути. При этом изготовление ячеек тройной точки ртути ограничено принятием значительным количеством стран Минаматской конвенции о ртути, запрещающей добычу, транспортировку и использование ртути в технических средствах. Одним из наиболее перспективных кандидатов на замену тройной точки ртути является тройная точка диоксида углерода, исследованию реализации которой и посвящена диссертация Бекетова Н.А.

2. Связь работы с планами соответствующих отраслей науки и экономики страны

Средства измерения температуры в диапазоне от минус 189,3442 до 0,01 °С применяются в таких отраслях промышленности и науки как ракетно-космическая отрасль, авиационная промышленность, медицина, пищевая промышленность, материаловедение. Общее количество типов термометров сопротивления – более 1500 и значительная их часть работает в указанном диапазоне температур. Поэтому для обеспечения единства измерений и повышения точности измерения температуры важно совершенствовать воспроизведение Международной температурной шкалы МТШ-90 в соответствии с планами Консультативного Комитета по термометрии Международного бюро Мер и Весов (ККТ МБМВ). В стратегии развития температурных измерений ККТ МБМВ до 2030 года записана необходимость подбора и проведения исследования реперных точек для замены тройной точки ртути. Поэтому работа



Бекетова Н.А. важна для развития промышленности и науки в РФ и соответствует мировой стратегии развития температурных измерений.

3. Новизна исследования и полученных результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Все представленные в работе Бекетова Н.А. результаты расчётов конструкции, моделирования и исследования ячейки тройной точки диоксида углерода являются новыми и оригинальными. Полученные результаты дают возможность оптимизировать режим подготовки ячейки тройной точки диоксида углерода и реализации тройной точки, оценить основные вклады в неопределённость передачи единицы температуры от реперной точки к термометру сопротивления. На основании результатов исследований автором разработаны новые методики калибровки длинностержневых платиновых термометров сопротивления в ячейке тройной точки диоксида углерода в динамическом режиме. Разработанные методики обеспечивают неопределённость передачи единицы менее 0,2 мК.

4. Значимость для науки и производства (практики) полученных автором диссертации результатов

Полученные Бекетовым Н.А. результаты расчёта конструкции ячейки, моделирования и экспериментального исследования реализации процессов в ячейке тройной точки диоксида углерода при динамической реализации тройной точки дают возможность оценить и уменьшить неопределённость передачи единицы температуры от ячейки тройной точки к калибруемому термометру сопротивления. Полученные результаты дают возможность разработки ячеек тройной точки диоксида углерода с улучшенными характеристиками, позволяют сократить время калибровки термометров сопротивления без существенного увеличения неопределённости.

5. Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации в научных учреждениях и предприятиях

Полученные Бекетовым Н.А. результаты и выводы могут быть использованы в метрологических институтах, региональных центрах метрологии, занимающихся поверкой и калибровкой эталонных платиновых термометров сопротивления 1-ого разряда.

6. Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и заключений

Выводы, заключения и научные положения диссертации Бекетова Н.А. основаны на результатах теоретического моделирования, проведённого с использованием законов термодинамики, уравнений теплообмена и реализованного с помощью проверенного программного обеспечения, а также сравнением результатов теоретических расчётов с результатами экспериментального исследования реализации тройной точки диоксида углерода, проведённого автором. Значения физических параметров веществ, использованные автором при моделировании и оценке неопределённости передачи единицы температуры от ячейки тройной точки к термометру взяты из литературных данных, опубликованных в высокоцитируемых журналах.

7. Оценка содержания диссертации, её завершённость в целом, замечания по оформлению

Диссертационная работа Бекетова Н.С. является законченным научным исследованием, выполненным на высоком профессиональном уровне. Во введении сформулирована цель и задачи работы, научная новизна, практическая значимость и основные положения, выносимые на защиту. В литературном обзоре описаны и проанализированы современные данные о реализации шкалы МТШ-90. Представленные в обзоре данные обосновывают актуальность

работы, методы и подходы, использованные автором при выполнении работы. В работе представлена методика и результаты расчёта конструкции ячейки тройной точки диоксида углерода с учётом прочности материала ячейки, влияния формы и размеров ячейки на высоту твёрдой фазы диоксида углерода, процессы теплообмена между ячейкой и жидкостью в термостате. В диссертации детально описаны методы теоретического моделирования, полученные при моделировании результаты. Методика и результаты экспериментального исследования реализации тройной точки описаны достаточно детально, включая два варианта намораживания диоксида углерода в ячейке. Подробно описана оценка неопределённости воспроизведения и передачи единицы температуры, детально рассмотрены различные вклады в неопределённость. Кроме этого, проведён анализ возможности уменьшения неопределённости калибровки платиновых термометров сопротивления при замене тройной точки ртути на тройную точку диоксида углерода, представлены разработанные методики калибровки термометров в ячейке тройной точки диоксида углерода.

Вместе с тем, к содержанию работы можно высказать следующие замечания и пожелания:

- 1) В работе написано, что при моделировании плато плавления разность между температурой плавления и температурой затвердевания диоксида углерода выбиралась, исходя из устойчивости работы программного обеспечения. В связи с этим было бы интересно использовать литературные данные по этим температурам или рассмотреть влияние разности температуры плавления и затвердевания на форму плато плавления.
 - 2) Было бы интересно проанализировать возможное влияние теплообмена излучением на реализацию плато тройной точки диоксида углерода, так как углекислый газ менее эффективно, чем ртуть, поглощает электромагнитное излучение.
 - 3) В диссертации написано, что коэффициенты чувствительности калибровки термометров к неопределённости температуры реперных точек были рассчитаны на основании коэффициентов калибровки коэффициентов А и В конкретного термометра. Это неоправданно занижает значение вывода о возможности уменьшения неопределённости передачи единицы температуры при замене тройной точки ртути на тройную точку диоксида углерода. Однако, по-видимому, коэффициенты чувствительности больше определяются стандартной функцией для платины, а не отклонениями от стандартной функции конкретных термометров. Поэтому вывод о возможности уменьшения неопределённости является общим.
 - 4) В работе представлена оценка вклада в неопределённость воспроизведения температуры ячейкой тройной точки, обусловленная экстраполяцией к 100 % жидкой фазы. Однако обычно такая экстраполяция применяется для уменьшения влияния примесей при реализации в адиабатическом режиме. В работе показано, что вклад в неопределённость от примесей должен быть меньше вклада от экстраполяции. Это указывает на то, что процедура экстраполяции для определения температуры тройной точки для разработанной ячейки и режимов реализации не является оптимальной. Возможно, более рациональным было бы определение температуры на основе сравнения плато плавления с результатами теоретического моделирования.
- Представленные замечания относятся главным образом к форме представления результатов и не влияют на достоверность выводов, заключений и рекомендаций диссертации и не снижают высокую оценку диссертационной работы в целом.

8. Соответствие автореферата основным положениям диссертации.

В автореферате диссертации представлена структура диссертации, изложены основные положения и выводы. Автореферат полностью соответствует основным положениям и выводам диссертации.

9. Соответствие содержания диссертации паспорту специальности

По поставленным целям, задачам и содержанию исследований диссертационная работа Бекетова Н.А. соответствует паспорту научной специальности 2.2.10 «Метрология и метрологическое обеспечение» по направлениям 5 «Совершенствование системы обеспечения единства измерений и метрологической инфраструктуры страны» и 7 «Разработка и внедрение новых государственных эталонов единиц измерений величин, позволяющих существенно повысить единство и точность измерений».

10. Подтверждение опубликования основных результатов диссертации в научной печати

По результатам диссертации опубликовано 5 статей в рекомендованных ВАК научных изданиях и 4 статьи в сборниках научных трудов международных и российских конференций.

11. Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным положением о порядке присуждения учёных степеней

Таким образом, диссертация Бекетова Николая Александровича является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение задачи разработки и исследования ячейки тройной точки диоксида углерода, необходимой для уменьшения неопределённости воспроизведения шкалы МТШ-90 в диапазоне температур от минус 189,3442 до 0,01 °С и подготовки к предполагаемой замене тройной точки ртути в соответствии со стратегией ККТ МБМВ обеспечения единства измерения температуры. В диссертации изложены новые научно обоснованные технические решения и разработки, имеющие существенное значение для развития страны, что соответствует требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения учёных степеней», утверждённого Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.08.2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата наук, а её автор заслуживает присвоения искомой учёной степени.

Диссертационная работа Бекетова Н.А. и отзыв ведущей научной организации обсуждены на заседании секции № 3 Ученого Совета ФГУП «ВНИИФТРИ» при НИО-3 (протокол № 3/2025 от 10 июля 2025 г.)

Отзыв составил

Ведущий научный сотрудник –
ученый хранитель государственного эталона
лаб. 310 отд.370 НИО-3, к.ф.-м.н.

В.Г. Кытин

Подпись В.Г. Кытина удостоверяю

Начальник отдела кадров
ФГУП «ВНИИФТРИ»



Лобова О.А.

Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт физико-технических и радиотехнических измерений» (ФГУП «ВНИИФТРИ»)

141570, Московская обл. г. Солнечногорск, р.п. Менделеево, промзона ФГУП «ВНИИФТРИ».

Сведения о ведущей организации

по диссертационной работе Бекетова Николая Александровича
«Вторичная реперная точка международной температурной шкалы на основе
тройной точки диоксида углерода», представленной в диссертационный
совет 32.1.001.01 при ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева» на соискание
ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.10 –
Метрология и метрологическое обеспечение (технические науки)

Полное наименование организации:	Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно- исследовательский институт физико- технических и радиотехнических измерений»
Сокращенное наименование организации:	ФГУП «ВНИИФТРИ»
Место нахождения:	Московская область, г. Солнечногорск, рабочий поселок Менделеево, промзона ФГУП ВНИИФТРИ, корпус 11
Почтовый адрес:	141570, Московская область, г. Солнечногорск, п/о Менделеево
Телефон:	+7 (495) 526 6363
Факс:	+7 (495) 660 0092
Адрес электронной почты:	office@vniiftri.ru
Адрес официального сайта организации:	https://www.vniiftri.ru/

Список основных публикаций работников ведущей организации по теме диссертации:

1. Кытин В.Г., Гавалян М.Ю., Потапов Б.Г., Асланян Э.Г., Щипунов А.Н. Установка относительной акустической газовой термометрии в диапазоне низких температур от 4,2 до 80 К // Измерительная техника. 2020. № 1. С. 45–52. <https://doi.org/10.32446/0369-1025it.2020-1-45-52>
2. Осадчий С.М., Потапов Б.Г., Петухов А.А., Пилипенко К.Д., Ражба Я.Е. Реализация тройной точки кислорода для капсульных термометров // Альманах современной метрологии. 2020. № 1 (21). С. 136–147

3. Kytin, V.G.; Kytin, G.A.; Ghavalyan, M.Yu.; Potapov, B.G.; Aslanyan, E.G.; Schipunov, A.N. Deviation of Temperature Determined by ITS-90 Temperature Scale from Thermodynamic Temperature Measured by Acoustic Gas Thermometry at 79.0000 K and at 83.8058 K // INTERNATIONAL JOURNAL OF THERMOPHYSICS 2020, vol. 41 (6), p. 88. <https://doi.org/10.1007/s10765-020-02663-2>
4. Кытин В.Г., Гавальян М.Ю., Петухов А.А., Потапов Б.Г., Ражба Я.Е., Асланян Э.Г., Щипунов А.Н. Государственный первичный эталон единицы температуры – кельвина – в диапазоне от 0,3 до 273,16 К ГЭТ 35-2021: реализация нового определения единицы температуры // Измерительная техника. 2021. № 8. С. 8–15. <https://doi.org/10.32446/0368-1025it.2021-8-8-15>
5. Петухов А.А., Потапов Б.Г., Кытин В.Г., Юров Л.В., Асланян Э.Г., Щипунов А.Н. Государственный первичный специальный эталон единицы теплопроводности твёрдых тел в диапазоне температур от 2 до 300 К ГЭТ 141-2020 // Измерительная техника. 2022. № 9. С. 3–7. <https://doi.org/10.32446/0368-1025it.2022-9-3-7>
6. 2022 Update for the Differences Between Thermodynamic Temperature and ITS-90 Below 335 K // Journal of Physical and Chemical Reference Data Cite as: J. Phys. Chem. Ref. Data 51, 043105 (2022); doi: 10.1063/5.0131026 Published Online: 27 December 2022 Christof Gaiser, Bernd Fellmuth, Roberto M. Gavioso, Murat Kalemci, Vladimir Kytin, Tohru Nakano, Anatolii Pokhodun, Patrick M. C. Rourke, Richard Rusby, Fernando Sparasci, Peter P. M. Steur, Weston L. Tew, Robin Underwood, Rod White, Inseok Yang and Jintao Zhang
7. Петухов А.А., Потапов Б.Г., Кытин В.Г., Гавальян М.Ю., Юров Л.В., Асланян Э.Г., Щипунов А.Н. Государственный первичный специальный эталон единицы удельной теплоёмкости твёрдых тел в диапазоне температур от 2 до 300 К ГЭТ 79-2020 // Измерительная техника. 2023. № 3. С. 4–9. <https://doi.org/10.32446/0368-1025it.2023-3-4-9>
8. Кытин В.Г., Потапов Б.Г., Петухов А.А., Асланян Э.Г., Щипунов А.Н. Применение рациональных функций в первичной и вторичной термометрии // Измерительная техника. 2024 № 12, С. 22–29. <https://doi.org/10.32446/0368-1025it.2024-12-22-29>