

ОТЗЫВ

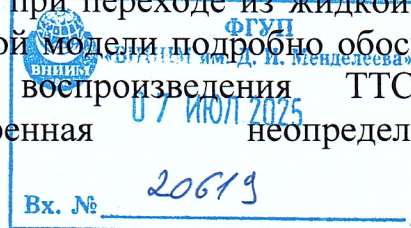
на автореферат диссертационной работы Бекетова Николая Александровича
**«Вторичная реперная точка международной температурной шкалы на
основе тройной точки диоксида углерода»**, представленной на соискание
ученой степени кандидата технических наук
по специальности 2.2.10 – «Метрология и метрологическое обеспечение»

Более 95 лет единство измерений температуры в мире обеспечивается на основе международных температурных шкал, представляющих собой аппроксимацию к термодинамической температурной шкале. Последняя редакция Международной температурной шкалы (МТШ-90) была принята Генеральной конференцией по мерам и весам в октябре 1989 г. и введена в действие с 1 января 1990 г. Она охватывает диапазон от минус 38,8344 °С до 961,78 °С, и является основой обеспечения единства измерений температуры в мире в настоящее время. В 2000 г. Международный комитет по мерам и весам в дополнение к ней принял Временную низкотемпературную шкалу PLTS-2000 (ВНТШ-2000), которая согласуется с МТШ-90 и охватывает диапазон от 0,902 мК до 1 К.

Одной из задач модернизации МТШ-90, определенной по итогам 24-й Генеральной конференции по мерам и весам, является исследование и выбор новой реперной точки на основе другого нетоксичного вещества на замену тройной точки ртути. В этой связи представляется актуальной и важной задача исследования возможности применения вторичной реперной точки МТШ-90 на основе тройной точки диоксида углерода (далее - ТТСO_2), решению которой и посвящена диссертационная работа Н.А. Бекетова.

Можно выделить два основных компонента неопределенности значения температуры, связанных с принципом построения международной температурной шкалы. Это, во-первых, неопределенность реализации термодинамической температуры, приписанной реперной точке положением МТШ-90. Во-вторых, это неопределенность, возникающая из-за особенностей используемого термометра и выбранного метода интерполяции между точками. В своей работе диссертант с поставленной целью уменьшить неопределенность градуировочной характеристики стержневых эталонных платиновых термометров сопротивления (ЭТС) в диапазоне от минус 189,3444 °С до 0,01 °С посредством реализации тройной точки диоксида углерода при отказе от применения реперной точки ртути, успешно справился.

При решении диссертантом указанной актуальной задачи получен ряд новых важных результатов. Разработана физико-математическая модель распределения уровня CO_2 в ампуле, учитывающая метод заморозки, направление фронта затвердевания и непрерывность понижения уровня вещества в связи с повышением плотности при переходе из жидкой фазы в твердую фазу. На основе этой разработанной модели подробно обоснован и составлен бюджет неопределенности воспроизведения ТТСO_2 , и подтверждено, что расширенная неопределенность



Вх. №

($k = 2$) T_{TCO_2} с расширенной неопределенностью (не превышает аналогичной характеристики для реперной точки ртути).

Практическая значимость работы заключается в том, что реализована T_{TCO_2} для градуировки стержневых ЭТС, позволяющая отказаться от реперной точки ртути при обеспечении единства измерений единицы температуры в диапазоне от минус 189,3444 °С до 0,01 °С. Применение ампулы для реализации T_{TCO_2} и метода внутренней заморозки ампулы позволило уменьшить в два раза стандартную неопределенность, обусловленную градуировочной характеристикой стержневых ЭТС. Установлено значение термодинамической температуры T_{TCO_2}

$T_{\text{co2}} = 216,5878 \text{ К}$ ($k = 2$) с расширенной неопределенностью $U_T = 1,03 \text{ мК}$.

На основе разработанных в работе положений методики передачи единицы температуры, ампула для реализации T_{TCO_2} включена в состав Государственного рабочего эталона единицы температуры 0-го разряда в диапазоне значений от 83,8058 К до 273,16 К (от минус 189,3444 °С до 0,01 °С).

К недостаткам автореферата следует отнести несоблюдение требований ГОСТ Р 2.105-2019 при оформлении иллюстраций, формул, таблиц, записей числовых интервалов, а также другие замечания, например, ссылка на несуществующую в автореферате формулу и т.п. На части рисунков отсутствуют пояснительные данные (рисунки 2, 4, 5), несоответствие единиц измерений на графиках зависимостей и подрисуночными пояснительными данными (рисунок 1), неправильное оформление наименования рисунков и подрисуночного текста.

Замечания оформительского характера не могут повлиять на положительную оценку диссертационной работы, выполненной на высоком научном уровне. В ней решена задача о возможности отказа от применения реперной точки ртути для передачи единицы температуры, достигнуто уменьшение неопределенности градуировочной характеристики стержневых ЭТС в диапазоне температуры от минус 189,3442 °С до 0,01 °С с использованием ампулы для реализации T_{TCO_2} . Для этого проведен анализ возможных путей замены тройной точки ртути. Проведено теоретическое обоснование метода реализации T_{TCO_2} в криостатах для измерения температуры фазового равновесия. Построена модель статического состояния оболочки ампулы реперной точки и расчет параметров ампулы реперной точки, проведено математическое моделирование процесса затвердевания и плавления диоксида углерода в ампуле реперной точки. Осуществлено моделирование процессов реализации T_{TCO_2} в криостатах. Проведена оценка составляющих неопределенности реализации тройной точки диоксида углерода. Разработан и изготовлен макет ампулы тройной точки диоксида углерода.

Разработанная ампула для реализации T_{TCO_2} включена в состав Государственного рабочего эталона единицы температуры 0-го разряда в соответствии с государственной поверочной схемой. Диссертация удовлетворяет всем требованиям пунктов 9-14, предъявляемых к кандидатским диссертациям «Положением о присуждении ученых степеней»,

утвержденных постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842. Автор диссертации, Бекетов Николай Александрович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.10 – «Метрология и метрологическое обеспечение».

Главный метролог

ФГБУН Института физики металлов
имени М.Н. Михеева Уральского отделения
Российской академии наук (ИФМ УрО РАН)
+7(343) 378 35 66

e-mail: nikoilaeva@imp.uran.ru

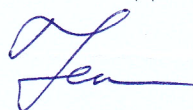
Почтовый адрес: 620108, г. Екатеринбург,
ул. Софьи Ковалевской, 18

30.06.2025



Фаузия Саитовна Николаева

Выражаю согласие на включение и дальнейшую обработку в аттестационном деле Н.А. Бекетова моих персональных данных, необходимых для работы диссертационного совета.



Фаузия Саитовна Николаева



Подпись Николаева Ф.С.
заверяю
Руководитель общего отдела
Бекетов Н.А.
30.06.2025 г.