



ОТЗЫВ

на автореферат диссертации

Бекетова Николая Александровича

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

на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 2.2.10 «Метрология и метрологическое обеспечение»

В соответствии с требованиями Высшей аттестационной комиссии Российской Федерации (ВАК), автореферат диссертации Бекетова Н.А. на тему «Вторичная реперная точка международной температурной шкалы на основе тройной точки диоксида углерода» состоит из трех основных частей: общей характеристики работы, основного содержания работы и заключения. Содержание каждой из них также соответствует требованиям ВАК.

Согласно разделу «Структура и объем диссертации» первой части автореферата, диссертация Бекетова Н.А. состоит из четырех глав, при этом общий объем диссертации составляет 164 страницы, а список литературы включает 130 библиографических ссылок. Все это косвенно свидетельствует об основательном подходе к разработке темы диссертации, включая обзор тематической литературы в первой главе диссертации.

Диссертация Бекетова Н.А. посвящена решению очень актуальной практической задачи – разработке ампулы с веществом, заменяющим ртуть, которая традиционно применяется для реализации современной международной температурной шкалы (МТШ-90), но при этом является чрезвычайно токсичной. Использование указанной ампулы позволит градуировать платиновые эталонные термометры сопротивления (ЭТС) стержневого типа, не используя опасную ртуть.

В первой главе диссертационной работы Бекетов Н.А. обоснованно сделал следующие выводы:

переопределение единицы термодинамической температуры (кельвина) не влияет на статус МТШ-90;

существует реальная возможность замены реперной тройной точки ртути, что позволяет отказаться от использования этого чрезвычайно токсичного элемента таблицы Д.И. Менделеева;

использование в качестве репера тройной точки диоксида углерода (CO₂) имеет в будущем хорошую перспективу.

Одним из личных теоретических достижений Бекетова Н.А. является разработанная им математическая модель распределения вещества в погружной ампуле, учитывающая возрастание плотности CO_2 на 23 % при переходе этого вещества из жидкой фазы в твердую. В целом же Бекетов Н.А. широко использовал метод конечных элементов для компьютерного моделирования теплообменных процессов, в которых участвует CO_2 . Также Бекетов исследовал составляющие суммарной стандартной неопределенности модели воспроизведения тройной точки CO_2 в жидкостном переливном термостате.

Результаты сравнительных измерений, проведенных в лабораториях национальных метрологических институтов России, Китая и Японии, позволили Бекетову Н.А. впервые экспериментально определить значение термодинамической температуры тройной точки CO_2 , которое составляет 216,5878 К с расширенной неопределенностью 1,03 мК при коэффициенте охвата $k = 2$.

Бекетов Н.А. также впервые разработал и обосновал специально для CO_2 методики:

передачи единицы температуры в диапазоне от минус 189, 3442 °С до плюс 0,01 °С в соответствии с МТШ-90;

градуировки стержневых ЭТС;

сличения ампул с CO_2 .

Бекетову Н.А. удалось экспериментально доказать, что при градуировке стержневых ЭТС в диапазоне от минус 160 °С до минус 50 °С стандартная неопределенность уменьшается более чем вдвое при условии применения тройной точки CO_2 вместо реперной точки Hg.

Также Бекетов Н.А. экспериментально провел сличения ампул с CO_2 , результаты которых подтвердили корректность разработанных им же положений по изготовлению ампулы для реализации тройной точки CO_2 . Бекетов Н.А. показал, что в силу достаточно низкой суммарной стандартной неопределенности ампулу с CO_2 можно включить в состав Государственного рабочего эталона температуры нулевого разряда.

Таким образом, итогом научных достижений Бекетова Н.А. стало впервые установленное значение температуры тройной точки CO_2 . Практическая значимость диссертации состоит в реализации указанной точки применительно к градуировке стержневых ЭТС, что позволяет отказаться от традиционной реперной точки ртути в диапазоне от минус 189, 3442 °С до плюс 0,01 °С и не менее чем вдвое повысить точность градуировки стержневых ЭТС с ампулами, содержащими CO_2 . Также можно использовать ампулу с CO_2 в составе Государственного рабочего эталона температуры нулевого разряда, что повысит достоверность результатов измерений и устранил риск, обусловленный применением Hg.

Бекетов Н.А. впервые показал, каким образом можно градуировать стержневые ЭТС с использованием CO_2 вместо Hg, при этом суммарная стандартная неопределенность результатов градуировки в диапазоне от минус 160 °С до минус 50 °С уменьшается не менее чем в 2 раза.

В первую очередь следует отметить глубокую теоретическую проработку Бекетовым Н.А. проблемы замены традиционной ртути абсолютно нетоксичным диоксидом углерода. Значительные теоретические успехи позволили Бекетову Н.А. не только доказать возможность замены Hg на CO₂, но и впервые осуществить целый ряд практических разработок в виде инновационной ампулы с CO₂ и новых методик, в том числе методики градуировки стержневых ЭТС, имеющих в своем составе такие ампулы.

Основная практическая значимость результатов диссертационной работы Бекетова Н.А. состоит в том, что они способствуют дальнейшему развитию международной температурной шкалы, имеющей самое широкое применение в мире. В частности:

предложена и научно обоснована полноценная замена чрезвычайно опасной ртути на безопасный диоксид углерода;

впервые разработаны научно-методические основы для проведения градуировки стержневых ЭТС с ампулами, содержащими CO₂.

Считаю, что Бекетов Николай Александрович за совокупность своих теоретических и практических достижений, полученных при работе над диссертацией по теме «Вторичная реперная точка международной температурной шкалы на основе тройной точки диоксида углерода», в полной мере заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.10 «Метрология и метрологическое обеспечение».

Ведущий инженер по метрологии
научно-исследовательского отдела
законодательной и теоретической метрологии,
научно-технических программ БелГИМ
кандидат технических наук по специальности
05.02.11 «Методы контроля и диагностика
в машиностроении»

05.06.2025

О.В. Булатов

Республиканское унитарное предприятие
«Белорусский государственный институт метрологии»
220053, Республика Беларусь, г. Минск, Старовиленинский тракт, 93
<https://belgim.by>
Тел. +375 17 3377799, факс +375 17 2449938
e-mail: info@belgim.by



А.И.Бордиповская

06 2025

Стр. 3 из 3