



ВНИИМ

ФГУП "Всероссийский научно-
исследовательский институт
метрологии им. Д.И.Менделеева"

«Реализация и исследование температуры тройной точки двуокиси углерода»

Докладчик:
Руководитель группы контактной
термометрии

Бекетов Николай Александрович
ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева»

www.vniim.ru



ВНИИМ

им. Д.И.Менделеева

Причина модернизации МТШ-90. Новое определение Кельвина.

На 26-й Генеральной конференции по мерам и весам, которая состоялась 13-16 ноября 2018 года в Париже, была принята новая международная метрическая система единиц SI.

Новая система предусматривает новые определения ряда основных единиц физических величин на основе фундаментальных физических констант. Одной из единиц, получивших новое определение, является кельвин.

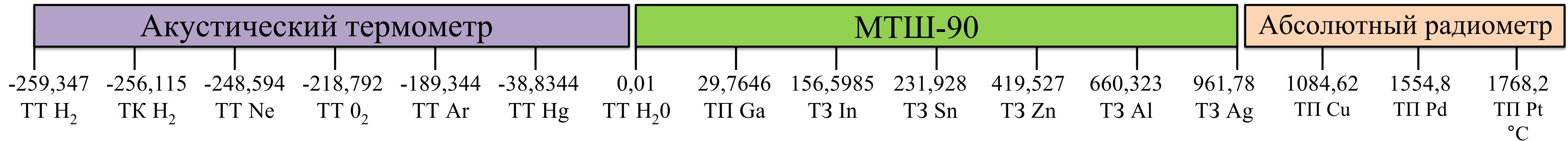
В соответствии с решением Генеральной конференции по мерам и весам новое определение кельвина имеет следующую формулировку:

Кельвин, символ K , является единицей термодинамической температуры. Он определяется путем принятия фиксированного числового значения постоянной Больцмана k которое должно составлять $1,380\,649 \times 10^{-23}$ и которое выражено в единицах $J\,K^{-1}$, что эквивалентно $kg\,m^2\,s^{-2}\,K^{-1}$

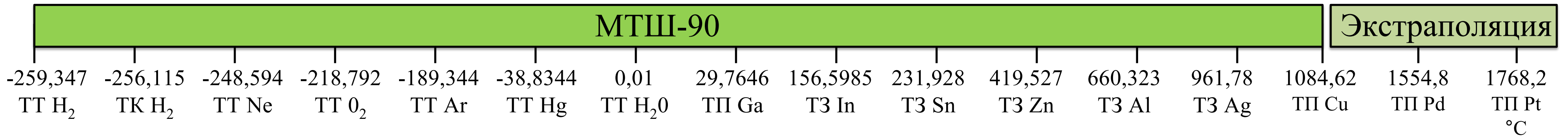


Response	Percentage
Doing a good job	68%
Not doing a good job	32%

Воспроизведение единицы температуры с учетом нового определения Кельвина



Воспроизведение единицы температуры по предыдущему определению Кельвина



ТТ – температура тройной точки

ТК – температура кипения

ТП – температура плавления

T3 – температура затвердевания

Основные направления модернизации МТШ-90

В соответствии с отчетом 24-й Генеральной конференции по мерам и весам определены следующие задачи по модернизации МТШ-90:

- Исследовать неопределенность воспроизведения МТШ-90 относительно термодинамической температуры
- Исследовать и выбрать новую реперную точку на основе нового вещества на замену тройной точки ртути.
- Исследования неединственностей шкалы.



Минаматская конвенция о ртути

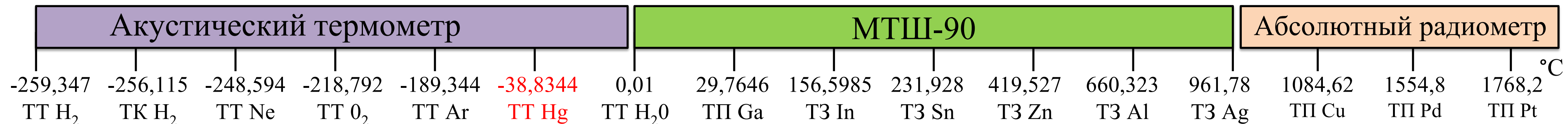
Цель Конвенции заключается в обеспечении охраны здоровья человека и окружающей среды от антропогенных выбросов и высвобождений ртути и ее соединений, и в ней закреплён ряд мер, необходимых для достижения этой цели.

- Меры по контролю за предложением ртути и торговлей ею, включая наложение ограничений на конкретные источники ртути, такие как первичная добыча
- Меры по контролю за продуктами с добавлением ртути и производственными процессами, в которых применяется ртуть или ртутные соединения, а также за кустарной и мелкомасштабной золотодобычей.
- Меры контроля, направленные на снижение уровней содержания ртути.
- Меры в отношении экологически безопасного временного хранения ртути, а также применительно к ртутным отходам и загрязненным участкам.
- Меры, касающиеся финансовой и технической поддержки развивающихся стран и стран с переходной экономикой, а также определен механизм финансирования для своевременного обеспечения достаточных финансовых ресурсов на предсказуемой основе.

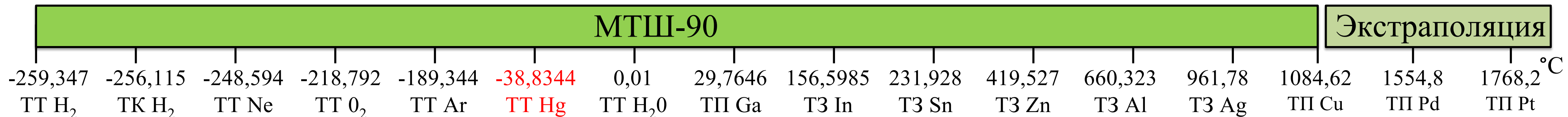


Реперная точка ртути

Воспроизведение единицы температуры с учетом нового определения Кельвина



Воспроизведение единицы температуры по предыдущему определению Кельвина



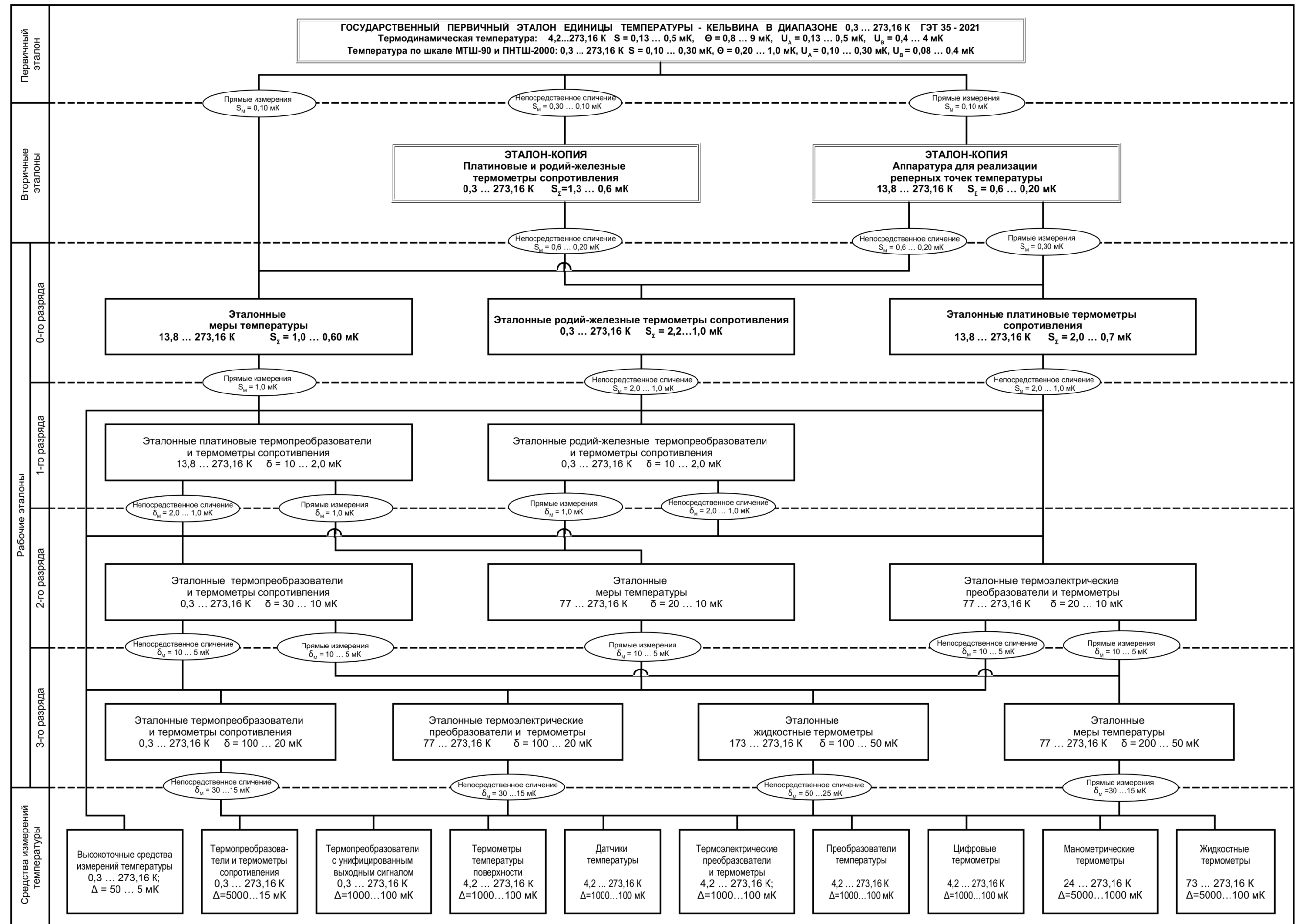
ТТ – температура тройной точки

ТК – температура кипения

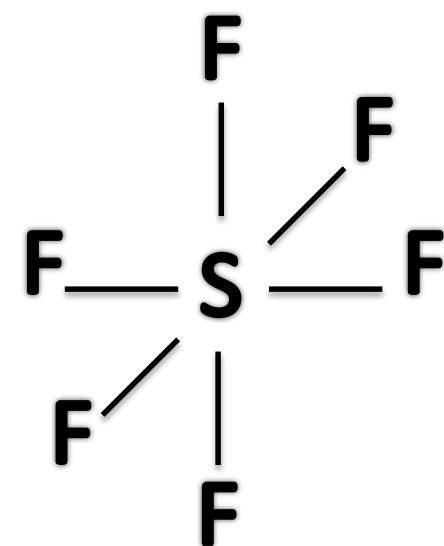
ТП – температура плавления

ТЗ – температура затвердевания

Поверочная схема утвержденная Росстандартом от 23 декабря 2022 г. №3253



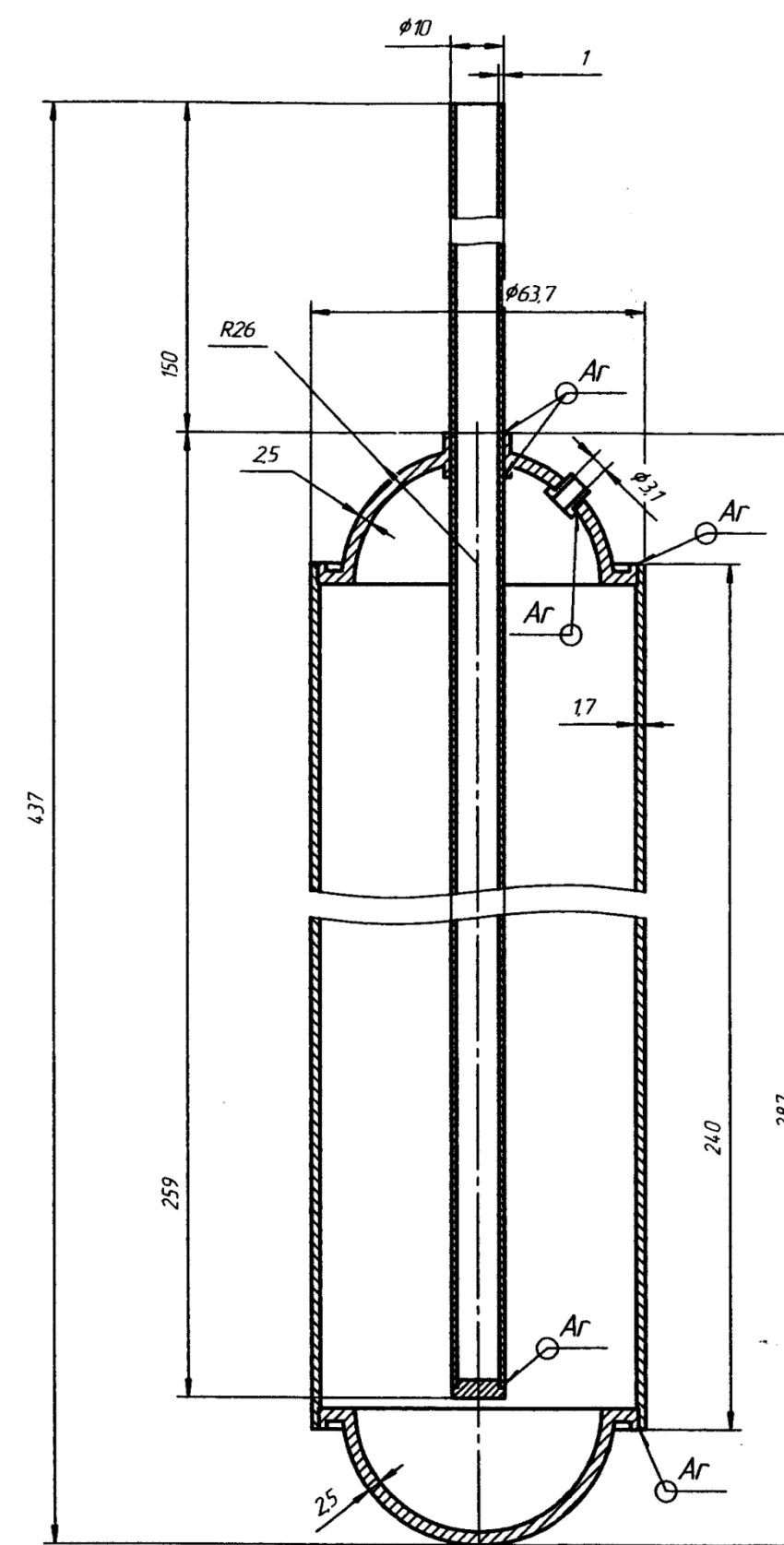
Рассматриваемые вещества



Наименование вещества	Диоксид углерода (CO ₂)	Гексафторид серы (SF ₆)	Ксенон (Xe)
Тип реперной точки	Тройная точка	Тройная точка	Тройная точка
Температура реперной точки, °C	-56,558	-49,593	-111,745

Конструкция ампулы

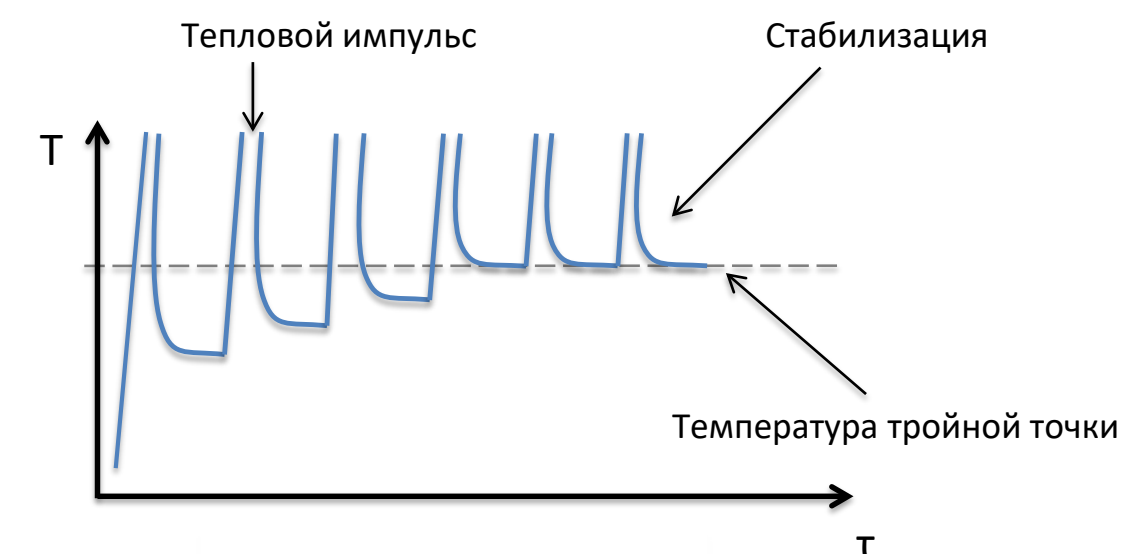
- Корпус ампулы и термометровый канал изготовлены из нержавеющей стали 12Х18Н10Т.
- Ампула заполнена диоксидом углерода под давлением $7,599 \cdot 10^6$ Па.
- Чистота вещества (CO_2) 99,9995%



Методы реализации тройной точки

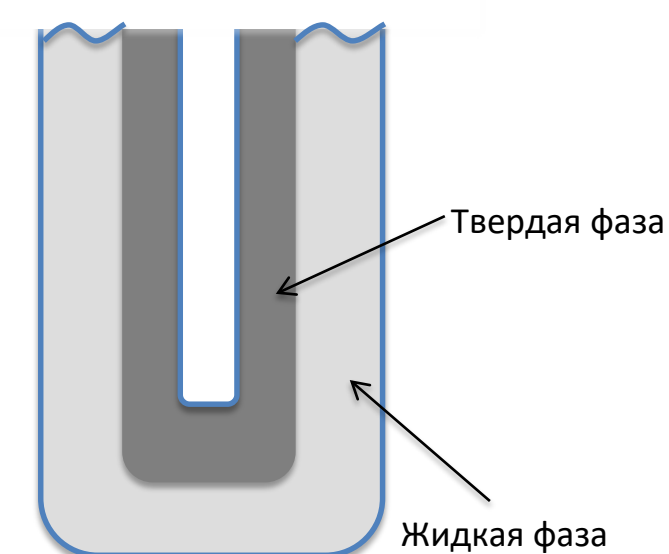
1. Метод тепловых импульсов

Вещество в ампуле полностью замораживается, находясь в термостате. Затем ампула нагревается до температуры $0,05\text{ }^{\circ}\text{C}$ ниже температуры тройной точки. Подаются тепловые импульсы известной мощности. После каждого импульса температура в ампуле стабилизируется, повышаясь после каждого импульса. Тройная точка будет реализована, как только температура в ампуле от импульса к импульсу перестает изменяться.



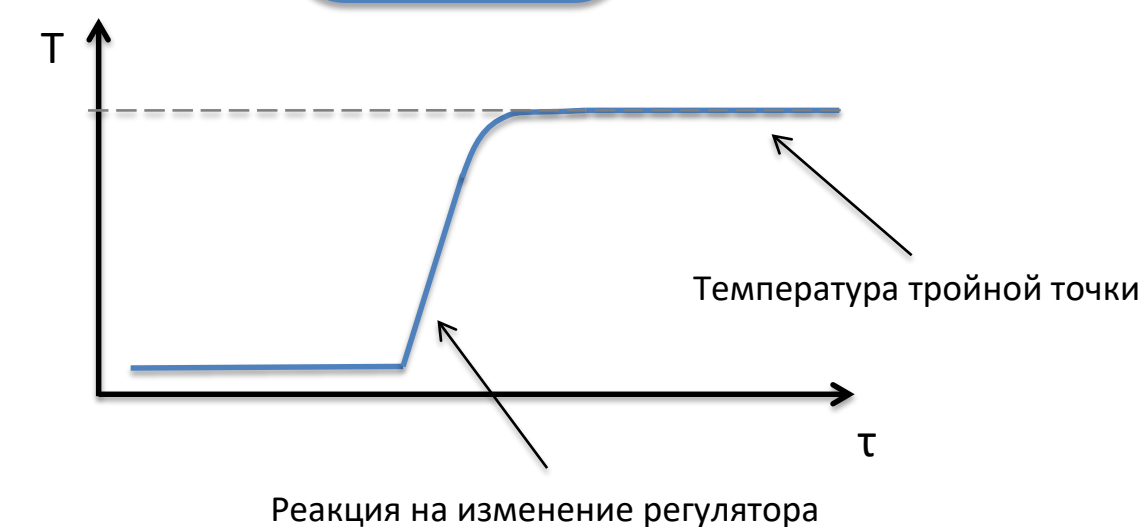
2. Метод образования мантии твердой фазы

Ампула помещается и выдерживается в термостате с температурой $0,05\text{ }^{\circ}\text{C}$ выше температуры тройной точки. Поочередно в термометровый канал помещаются металлические стержни, охлажденные в жидком азоте. После окончания намораживания ампулу выдерживают для стабилизации температуры. Тройная точка будет реализована после погружения в канал ампулы стержня комнатной температуры для образования границы раздела фаз вдоль термометрового канала.

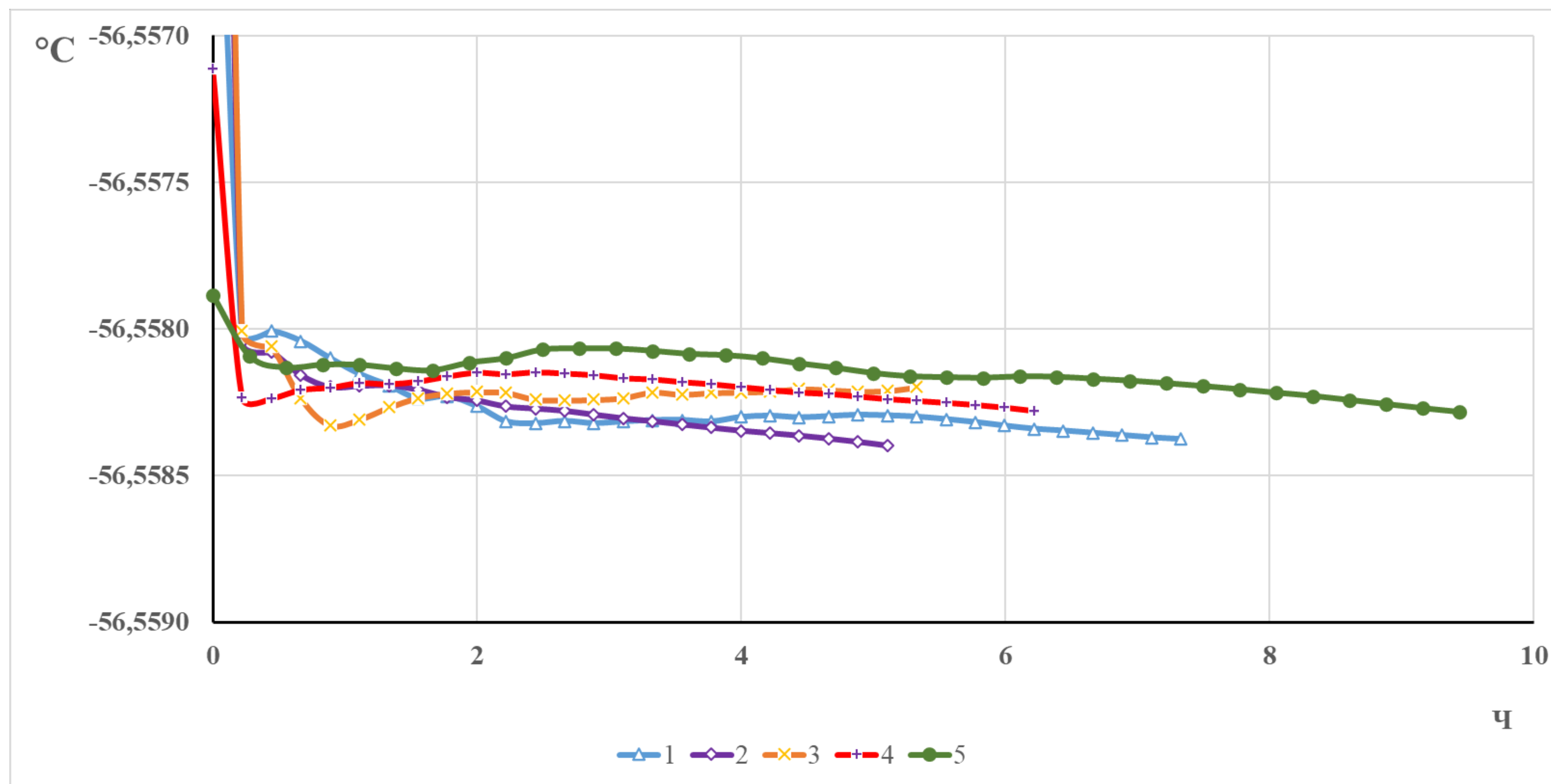


3. Метод реализации при помощи регулятора термостата

Вещество в ампуле полностью замораживается, находясь в термостате. Регулятор устанавливается на $0,05\text{ }^{\circ}\text{C}$ выше температуры тройной точки. Тройная точка будет реализована после погружения в канал ампулы стержня комнатной температуры для образования границы раздела фаз вдоль термометрового канала. Стержень можно погружать, когда температура в ампуле по контрольному термометру будет ниже на $0,01\text{ }^{\circ}\text{C}$ температуры тройной точки.



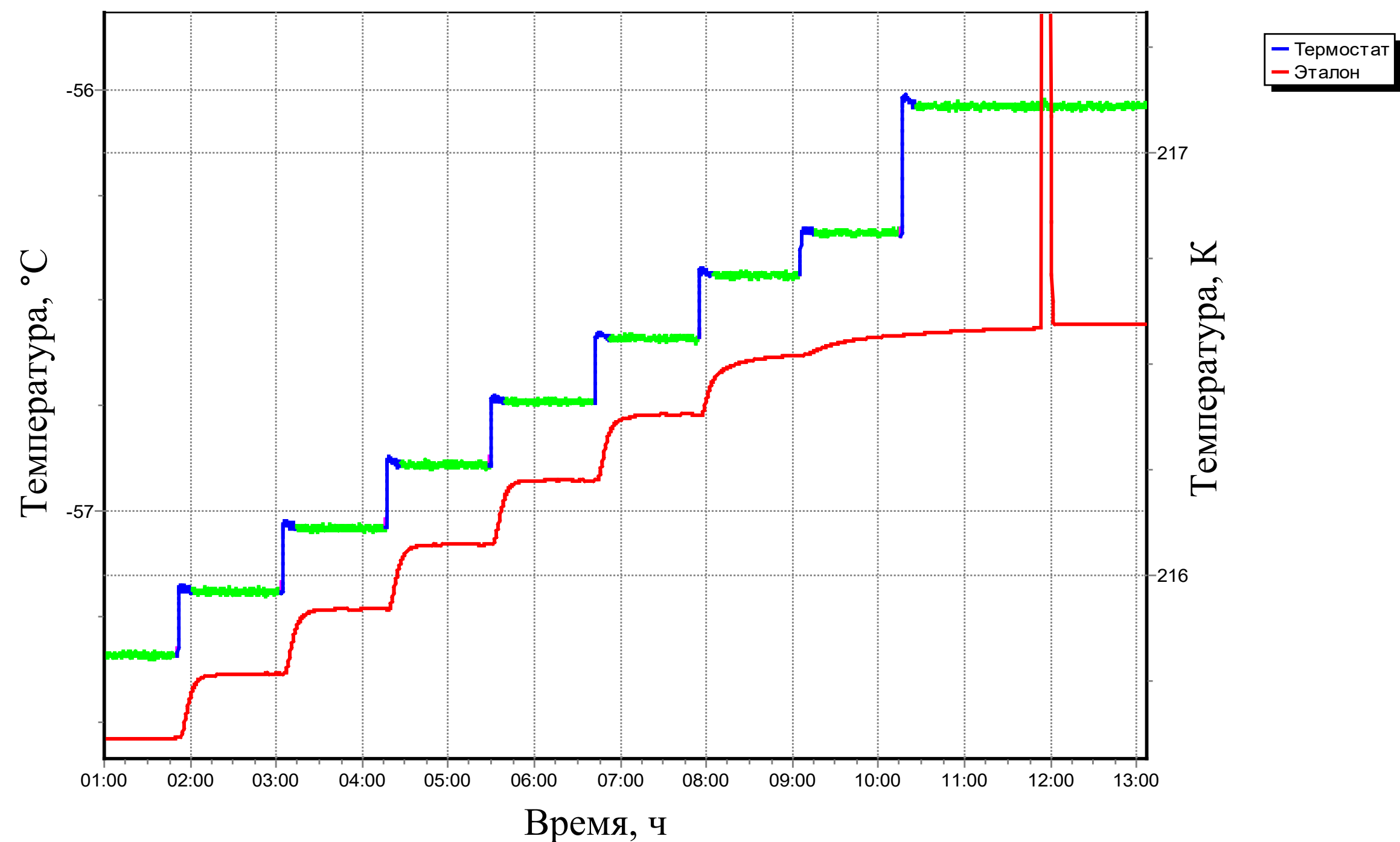
Графики реализаций тройной точки диоксида углерода во ВНИИМ



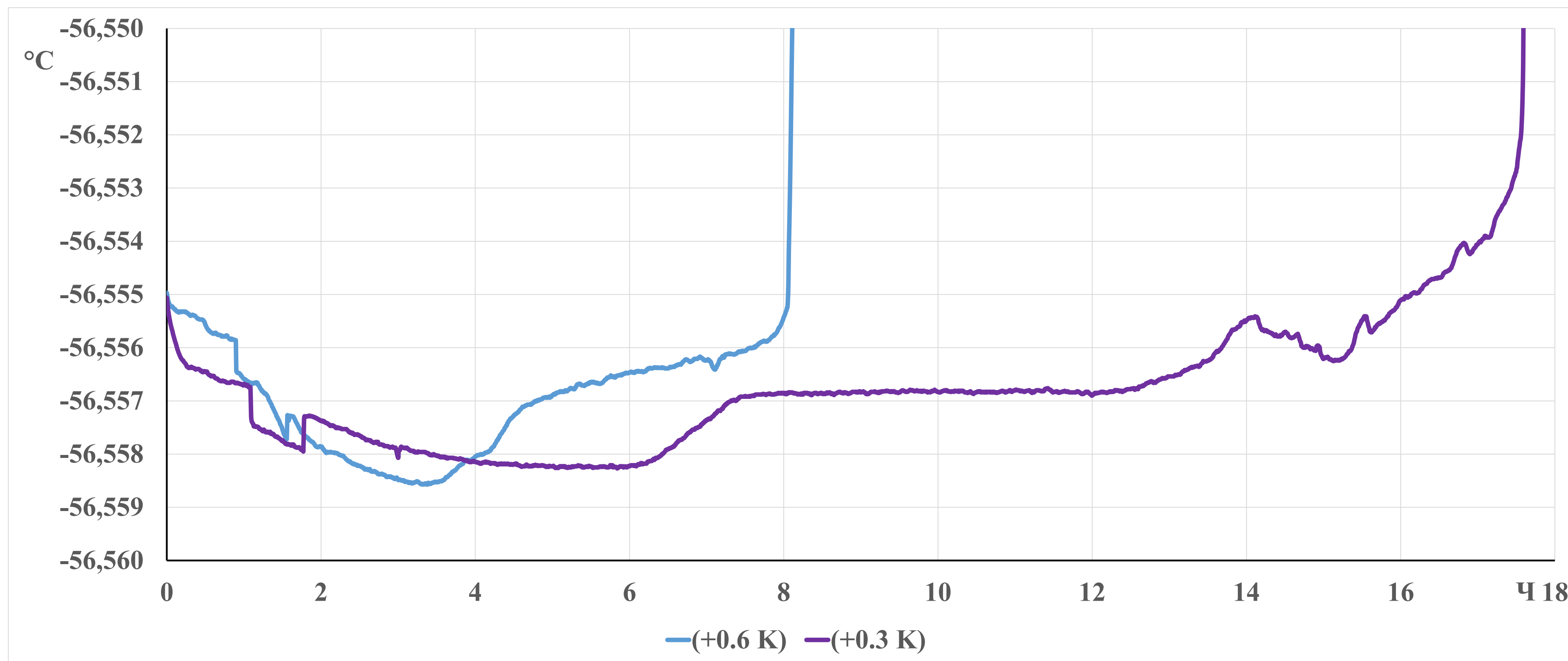
Бюджет неопределенностей

Наименования составляющей неопределенности	Стандартная неопределенность u_i , мК
Химические примеси	0,130
Изотопный состав	0,043
Гидростатическое давление	0,027
Нестабильность эталонного опорного резистора	0,002
Нелинейность прецизионного моста сопротивления	0,020
Поправка на самонагрев термометра	0,016
Влияние измерения тройной точки воды	0,033
Калибровка ЭТС	0,241
Воспроизводимость	0,093
Суммарная стандартная неопределенность ($k=1$)	0,296

Метод реализации тройной точки CO_2 в лаборатории ВНИИФТРИ



Графики реализаций тройной точки диоксида углерода во ВНИИФТРИ



Заключение

Результаты

- В соответствии с современными мировыми тенденциями поставлена научно-исследовательская задача по поиску альтернативы реперной точки ртути.
- Выбрано вещество и изготовлены опытные образцы ампул на базе отечественного предприятия НПП «Элемер»
- Проведена серия измерений для определения оптимального метода реализации тройной точки CO_2 .
- Исследована воспроизводимость температуры тройной точки CO_2 .
- Совместно с лабораторией термометрии во ВНИИФТРИ проведены дополнительные исследования методов подготовки и реализации тройной точки CO_2 .
- Лабораторией термометрии во ВНИИФТРИ измерено номинальное значение тройной точки CO_2 по МТШ-90 для изготовленной ампулы.

Планы

- Измерение термодинамической температуры реперной точки CO_2 с применением акустического термометра, совместно с лабораторией термометрии во ВНИИФТРИ.



ВНИИМ

ФГУП "Всероссийский научно-
исследовательский институт
метрологии им. Д.И.Менделеева"

**СПАСИБО
ЗА ВНИМАНИЕ!**

www.vniim.ru



ВНИИМ
им. Д.И.Менделеева