

**FLUKE**®

Calibration

# Fluke Calibration Серия семинаров

## Оценка неопределенности

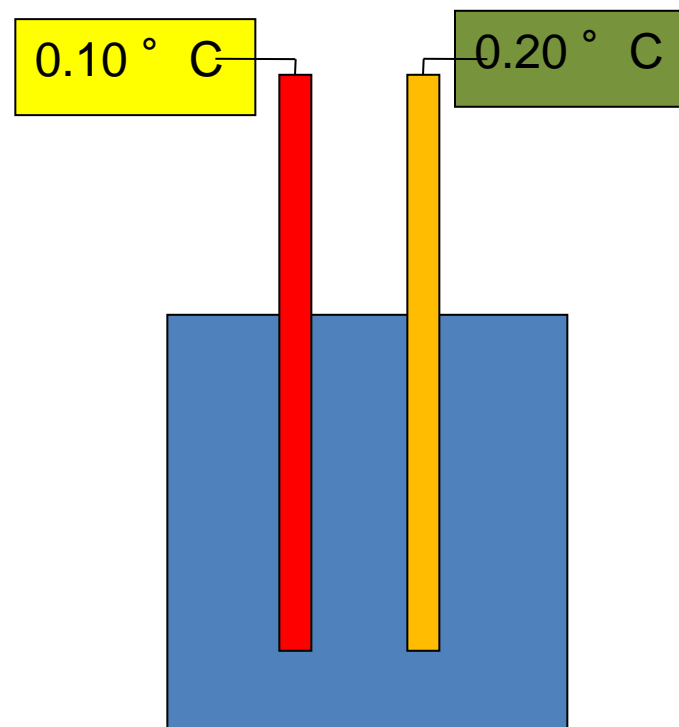


## *План семинара*

- Неопределенность?
- Источники неопределенности?
- Оценка неопределенности
- Пример расчета
- Заключение

## Неопределенность - надежность

- Два термометра в одном источнике температуры дадут разные показания
- Заявленная неопределенность поможет понять какой из термометров работает корректно.



- **Метод калибровки** и выбор используемых стандартов
- **Калибруемый прибор**
- **Метод измерения**
- **Надежность измерений**
- **Тепловое равновесие**
  - Все ли находится в тепловом равновесии?
- **Окружающая среда** влияние на измерения (Часто сложно поддающаяся контролю)
- **Экспертиза** с которой сделаны измерения (Величина сложно поддающаяся подсчету)
  - Насколько хорошо метролог работает с первыми 5 пунктами

## Определения системы измерения

- Термометр измеряет свою собственную температуру
- Для измерения температуры тела, необходимо что бы температура тела соответствовала температуре термометра
- Это требует теплового равновесия

- Определение влияющих факторов
- Сбор информации по влиянию каждого фактора
- Описание влияния каждого фактора (распределение)
- Определение среднего значения и дисперсию влияния (распределения)
- Расчет доверительного интервала

## Влияющие величины

- Некоторые составляющие неопределенности влияют непосредственно на измеряемую температуру
  - Однородность ванны
  - Поток тепла (эффект погружения)
  - Самонагрев
- Остальные компоненты неопределенности влияют на наши измерения температуры
  - Измеритель термометра
  - Термоэлектрический эффект
  - Калибровка ПТС

## Методы оценки

- Способ А оценка неопределенности статистическими средствами
- Способ В оценка неопределенности не статистическими средствами



## Способ А vs. Способ В

- Оценка каждого компонента неопределенности статистически будет не практично и скорее всего неблагоприятно
- Способ А не лучше Способа В

## Стандартное отклонение от среднего значения

- Каждая точка калибровки это средняя величина серии измерений
- Стандартное отклонение среднего или стандартная ошибка зависит от дисперсии данных

$$\text{standard error} = \frac{s}{\sqrt{n}}$$

- **Неопределенности оценивается по отличным от статистического методам**
  - Спецификация производителя
  - Данный сертификатов калибровки
  - Неопределенность из справочных источников
  - Переведенное в “стандартное отклонение” на базе прямоугольного распределения

# Пример неопределенности

## Температура = 420 °C (точка затвердевания цинка)

Компонент (стандартная неопределенность @ $k=1$ )	Type	Value
Стандартная ошибка измерения сопротивления (ограничения - $s$ среднего, $n = 30$ )	A	
Неоднородность процесса (проверка)	A	
Калибровка эталонного ПТС	B	
Эффект погружения	B	
Однородность неопределенности ЭПТС	B	
Однородность ванны	B	
Термометр для UUT (6 ppm)	B	
Термометр эталона (6 ppm)	B	
<b>Общее</b>		
<b>Total (combined &amp; expanded @ <math>k=2</math>)</b>		

## Практический расчет

- Какая должна быть точность оценки неопределенность относительно температуры если процесс:
  - Требуется проведения 30 повторений на измерение
  - Не использует цифровой фильтр
  - Допускает максимальное стандартное отклонение 0.001  $\Omega$  измерения сопротивления
  - использует 100  $\Omega$  PRT с чувствительностью 0.35  $\Omega/^\circ\text{C}$  в диапазоне 420  $^\circ\text{C}$

$$\text{standard deviation of the mean} = \frac{s}{\sqrt{n}}$$

## Практический расчет

- Расчет S согласно данным:

$$\frac{0.001\Omega}{0.35 \frac{\Omega}{^{\circ}C}} = 0.00286^{\circ}C$$

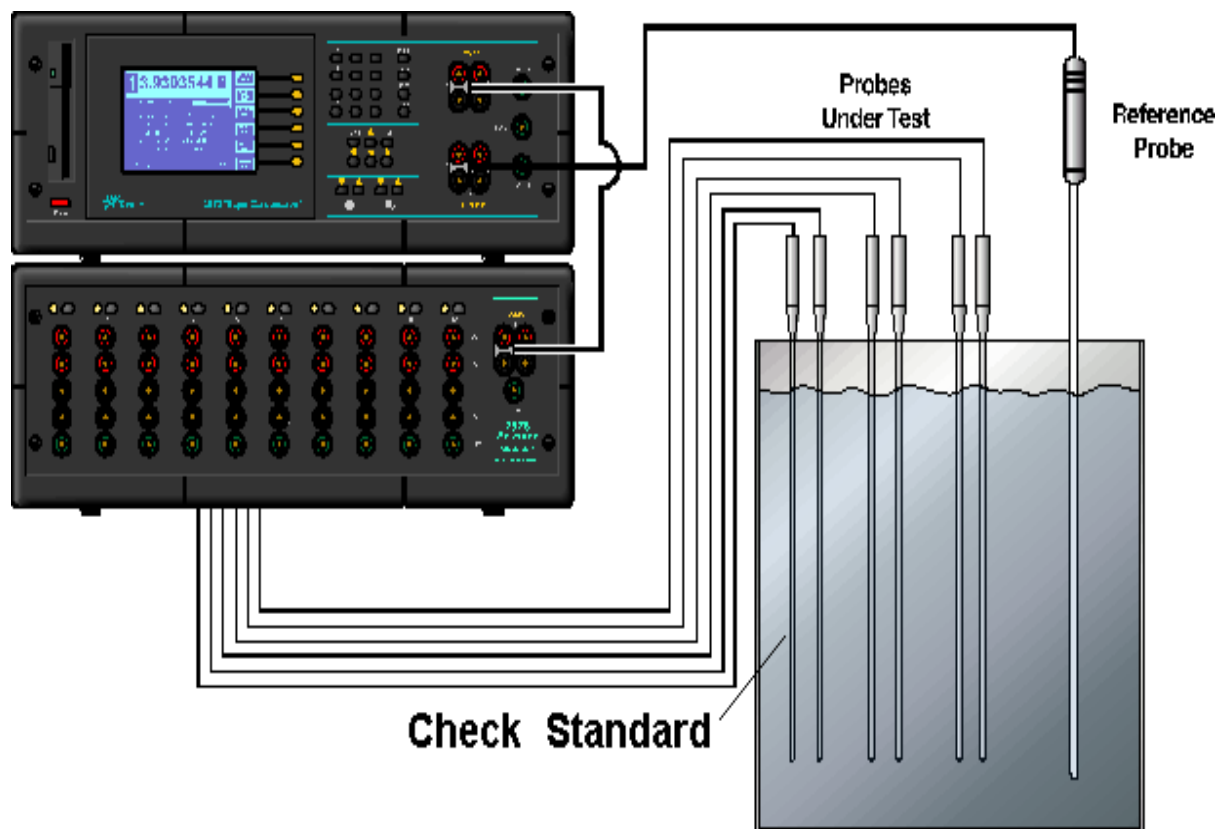
- Расчет стандартной ошибки

$$\frac{0.00286^{\circ}C}{\sqrt{30}} = 0.00052^{\circ}C$$

# Пример неопределенности

<b>Температура = 420 °C (точка затвердевания цинка)</b>		
<b>Компонент (стандартная неопределенность @ k=1)</b>	<b>Type</b>	<b>Value</b>
Стандартная ошибка измерения сопротивления (ограничения - s среднего, $n = 30$ )	A	0.52 mK
Неоднородность процесса (проверка)	A	
Калибровка эталонного ПТС	B	
Эффект погружения	B	
Однородность неопределенности ЭПТС	B	
Однородность ванны	B	
Термометр для UUT (6 ppm)	B	
Термометр эталона (6 ppm)	B	
<b>Общее</b>		
<b>Total (combined &amp; expanded @ k=2)</b>		

## Проверка неоднородности процесса





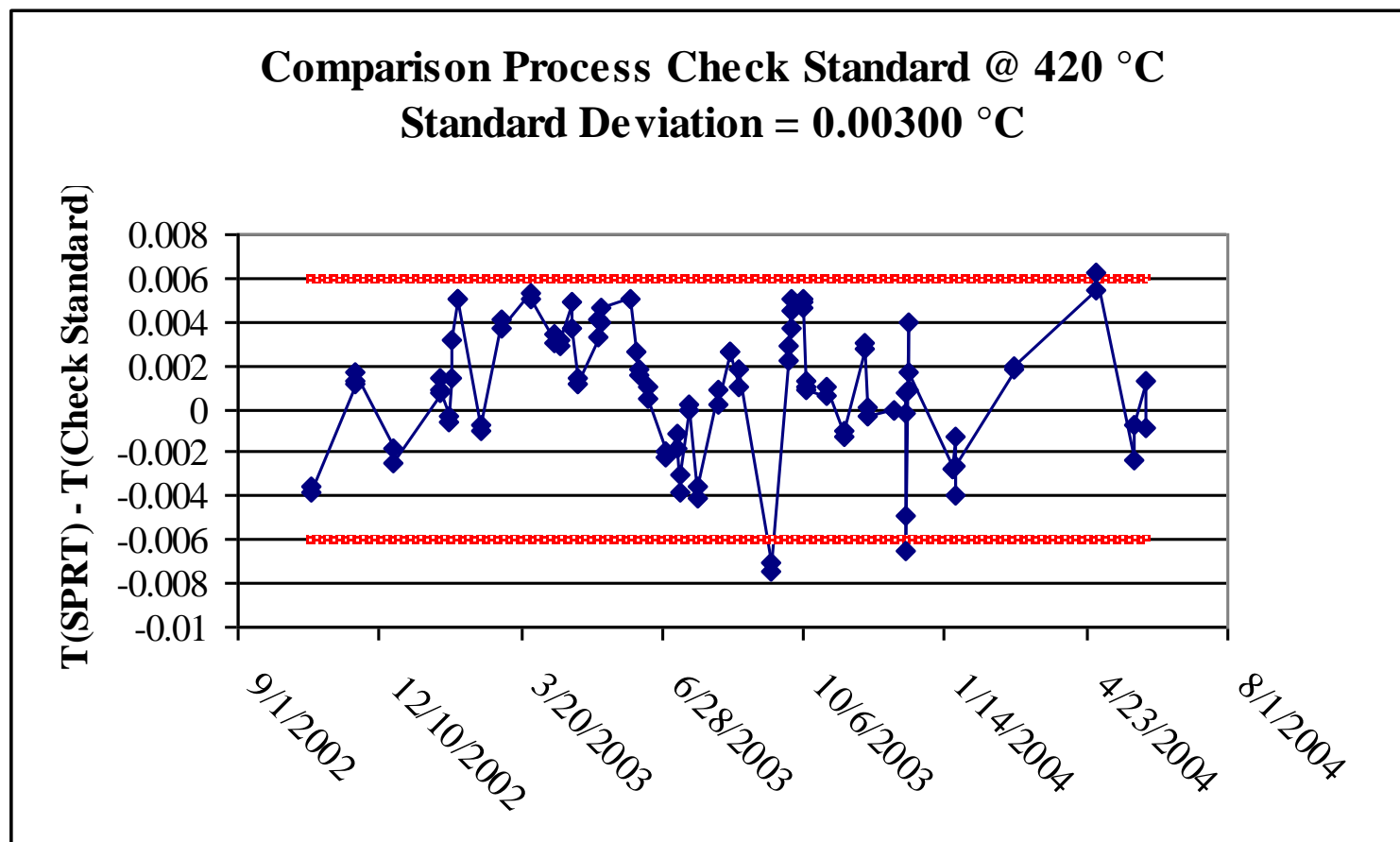
## Проверка однородности

- Проверка с эталоном как если бы это был UUT
- Перевод данных в необходимые величины (°C, mK, и т.д.)
- Построение графиков
- Расчет параметров однородности

## Проверка однородности

- Позволяет дать оценку однородности процесса
- Если UUTs имеют достаточную стабильность, данные эталона будут похожи для всех UUTs
- Если UUTs не стабильны, до данные эталонный будут выше чем UUTs

## Проверка эталона – Графики



# Пример неопределенности

<b>Температура = 420 °C (точка затвердевания цинка)</b>		
<b>Компонент (стандартная неопределенность @ <math>k=1</math>)</b>	<b>Type</b>	<b>Value</b>
Стандартная ошибка измерения сопротивления (ограничения - $s$ среднего, $n = 30$ )	A	0.52 mK
Неоднородность процесса (проверка)	A	3.00 mK
Калибровка эталонного ПТС	B	
Эффект погружения	B	
Однородность неопределенности ЭПТС	B	
Однородность ванны	B	
Термометр для UUT (6 ppm)	B	
Термометр эталона (6 ppm)	B	
<b>Общее</b>		
<b>Total (combined &amp; expanded @ <math>k=2</math>)</b>		

- Точность эталона
- Точность термометра (измерителя)
- Прочие: однородность ванны, UUT и эталоны PRT погружной эффект и прочее

## Точность эталона

- Краткосрочная повторяемость сопротивления ( $R_{TRW}$ )
  - Оценка с учетом термической цикличности и эффекта гистерезиса
  - Отчет в виде эквивалентного значения температуры
  - Используется при определении **неопределенности калибровки**
- Долгосрочное сопротивление **дрейф** ( $R_{TRW}$ )
  - 100 часов max температуры
  - Отчет в виде эквивалентного значения температуры
  - Расчет дрейфа на других температурах, согласно этого значения
- Неопределенность калибровки + дрейф + измерения  
= Точность
  - Различные ПО по расчету неопределенности позволяют упростить этот процесс (применение правильных преобразований, расчетов и статистики в каждой температурной точке)

- Оценка неопределенности по фиксированным точкам
- Распространение применения МТШ-90
  - Кривые величин
  - Кривые второго порядка
- Неопределенность в каждой точке может быть рассчитана

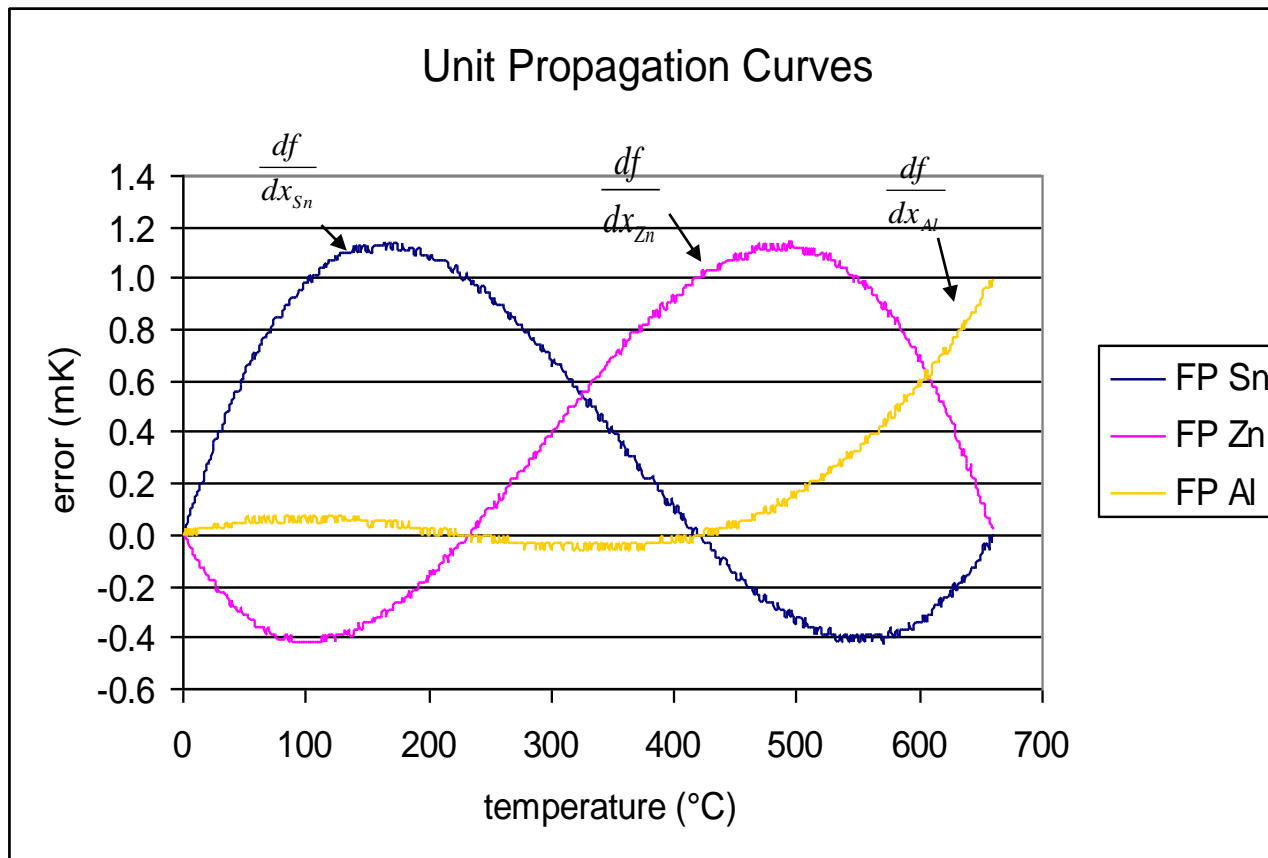
## Закон распространения неопределенности

- Заданная функция  $z = f(x, y, \dots)$
- Когда неопределенность между точками  $x$  и  $y$  и т.д... Не коррелируют

$$\sigma_z^2 = \left(\frac{df}{dx}\right)^2 \sigma_x^2 + \left(\frac{df}{dy}\right)^2 \sigma_y^2 + \dots$$



## Закон распространения неопределенности МТШ-90:

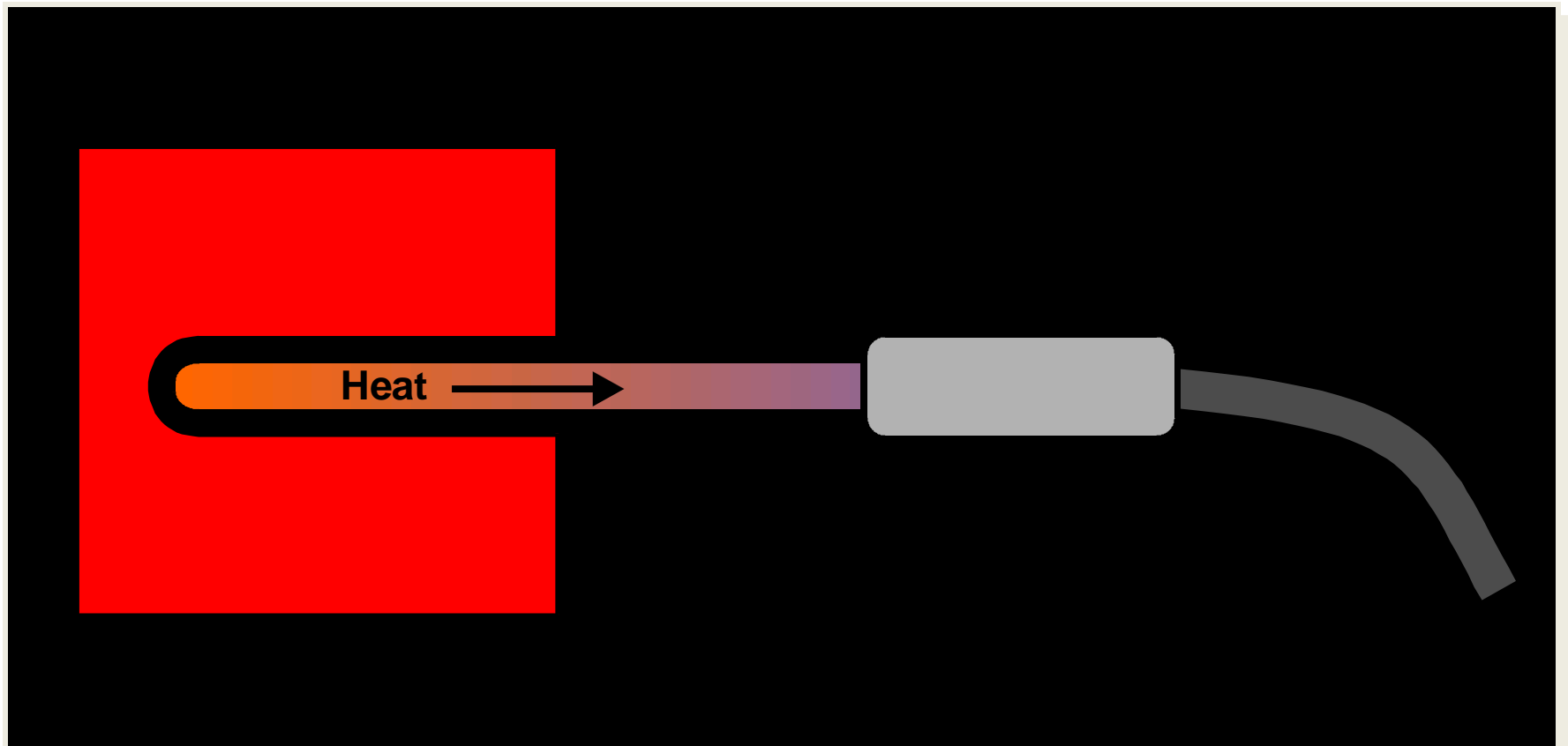


# Пример неопределенности

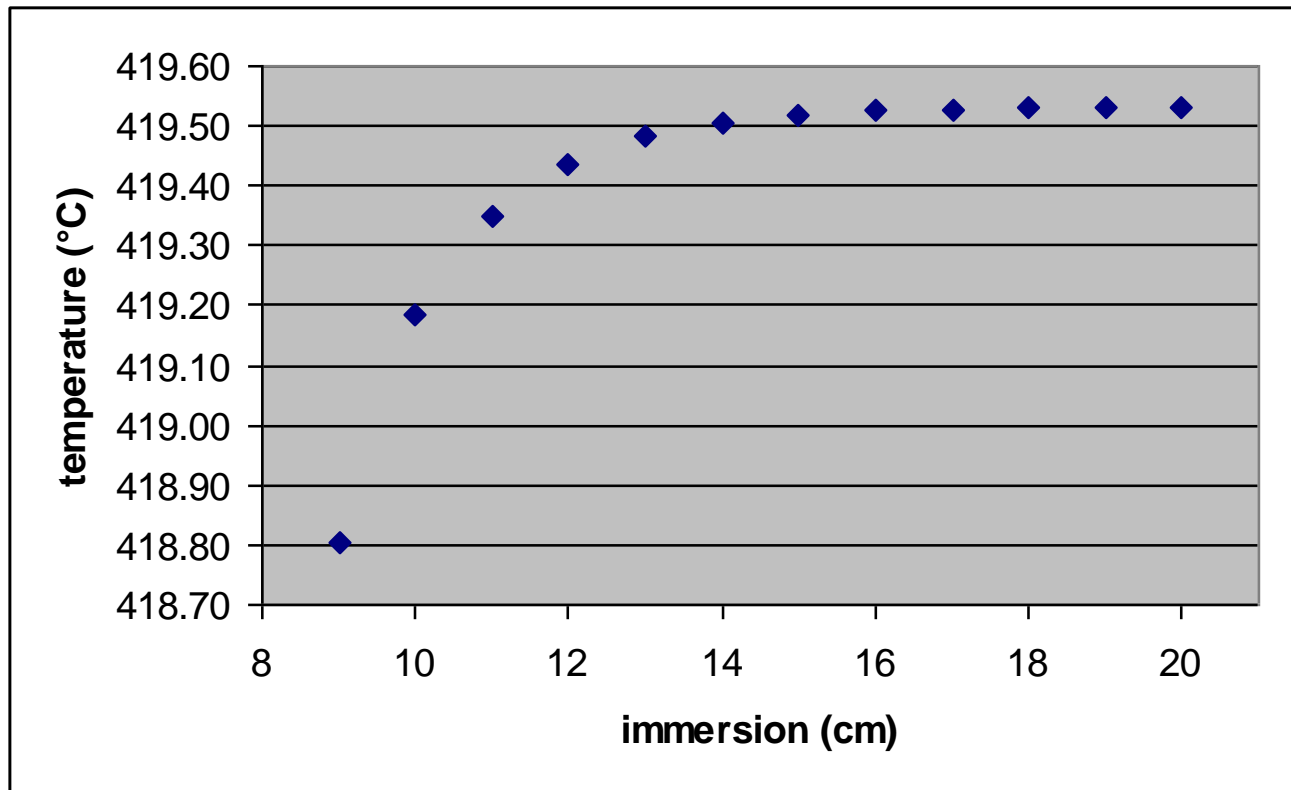
<b>Температура = 420 °C (точка затвердевания цинка)</b>		
<b>Компонент (стандартная неопределенность @ k=1)</b>	<b>Type</b>	<b>Value</b>
Стандартная ошибка измерения сопротивления (ограничения - s среднего, $n = 30$ )	A	0.52 mK
Неоднородность процесса (проверка)	A	3.00 mK
Калибровка эталонного ПТС	B	1.10 mK
Эффект погружения	B	
Однородность неопределенности ЭПТС	B	
Однородность ванны	B	
Термометр для UUT (6 ppm)	B	
Термометр эталона (6 ppm)	B	
<b>Общее</b>		
<b>Total (combined &amp; expanded @ k=2)</b>		

- Гистерезис : #1 относится к промышленным PRTs
- Однородность: #1 относится к ТП
- Самонагрев зависит от тока возбуждения и калибровочной среды
- 2-проводные и 3-проводные RTDs могут иметь большую неоднородность из-за сопротивления проводов
- Некоторые датчики требуют большей глубины погружения чтобы снизить ошибку от влияния эффекта погружения (стволовой эффект)

## Эффект погружения



## Эффект погружения



## Глубина погружения

### Правило пальца

Глубина погружения = 20 X диаметров + длина датчика

### Пример:

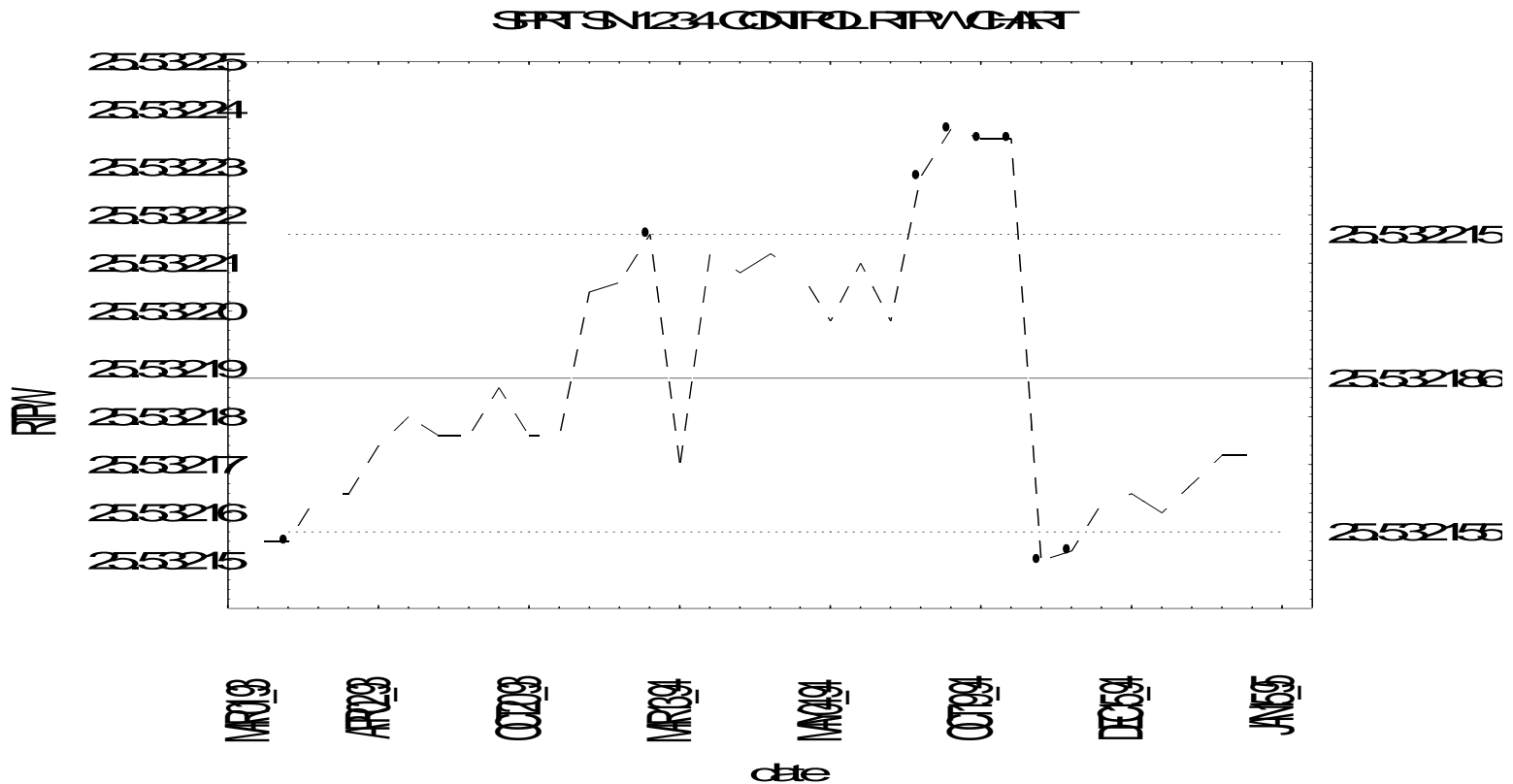
Термометр диаметром .25 дюймов и длиной датчика 1.25 дюймов

Глубина погружения = 20 X .25 + 1.25 = 6.25  
дюймов

# Пример неопределенности

<b>Температура = 420 °C (точка затвердевания цинка)</b>		
<b>Компонент (стандартная неопределенность @ k=1)</b>	<b>Type</b>	<b>Value</b>
Стандартная ошибка измерения сопротивления (ограничения - s среднего, $n = 30$ )	A	0.52 mK
Неоднородность процесса (проверка)	A	3.00 mK
Калибровка эталонного ПТС	B	1.10 mK
Эффект погружения	B	1.50 mK
Стабильность ЭПТС	B	
Однородность ванны	B	
Термометр для UUT (6 ppm)	B	
Термометр эталона (6 ppm)	B	
<b>Общее</b>		
<b>Total (combined &amp; expanded @ k=2)</b>		

## Стабильность ЭПТС

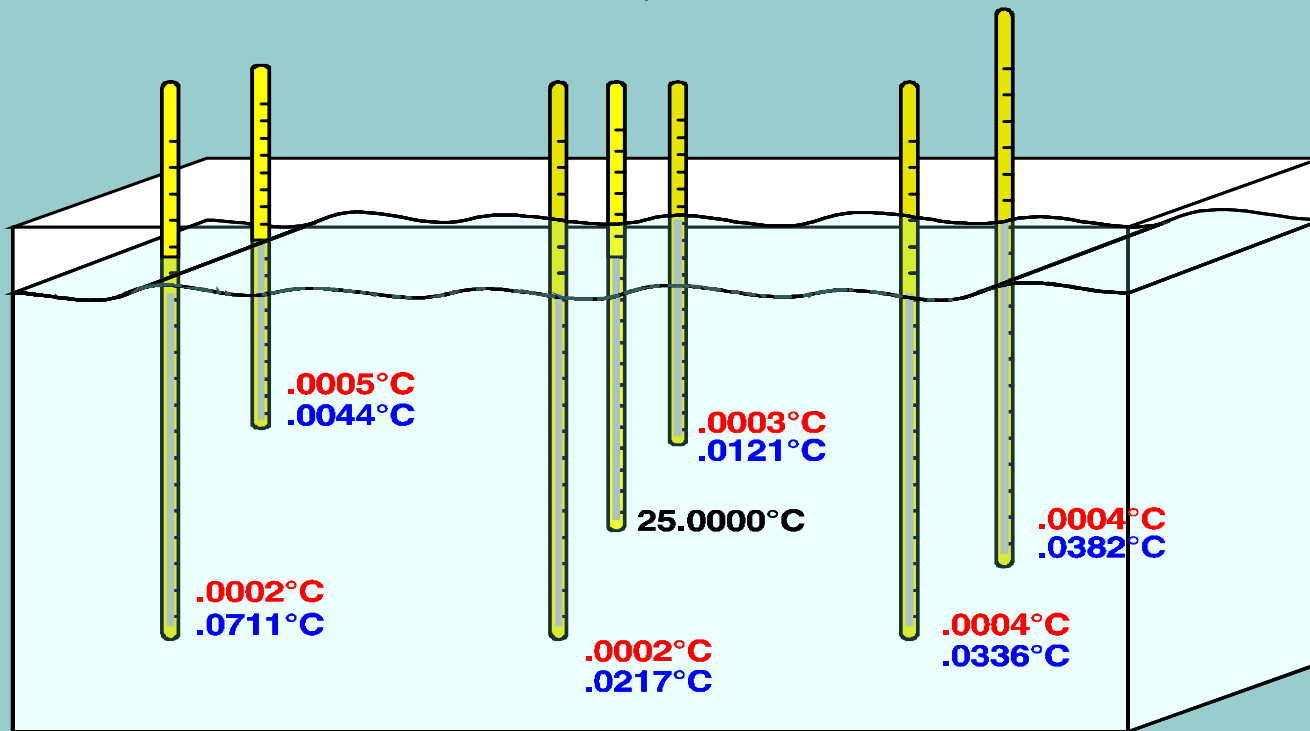




# Пример неопределенности

<b>Температура = 420 °C (точка затвердевания цинка)</b>		
<b>Компонент (стандартная неопределенность @ k=1)</b>	<b>Type</b>	<b>Value</b>
Стандартная ошибка измерения сопротивления (ограничения - s среднего, $n = 30$ )	A	0.52 mK
Неоднородность процесса (проверка)	A	3.00 mK
Калибровка эталонного ПТС	B	1.10 mK
Эффект погружения	B	1.50 mK
Однородность неопределенности ЭПТС	B	0.50 mK
Однородность ванны	B	
Термометр для UUT (6 ppm)	B	
Термометр эталона (6 ppm)	B	
<b>Общее</b>		
<b>Total (combined &amp; expanded @ k=2)</b>		

## Uniformity @ 25°C

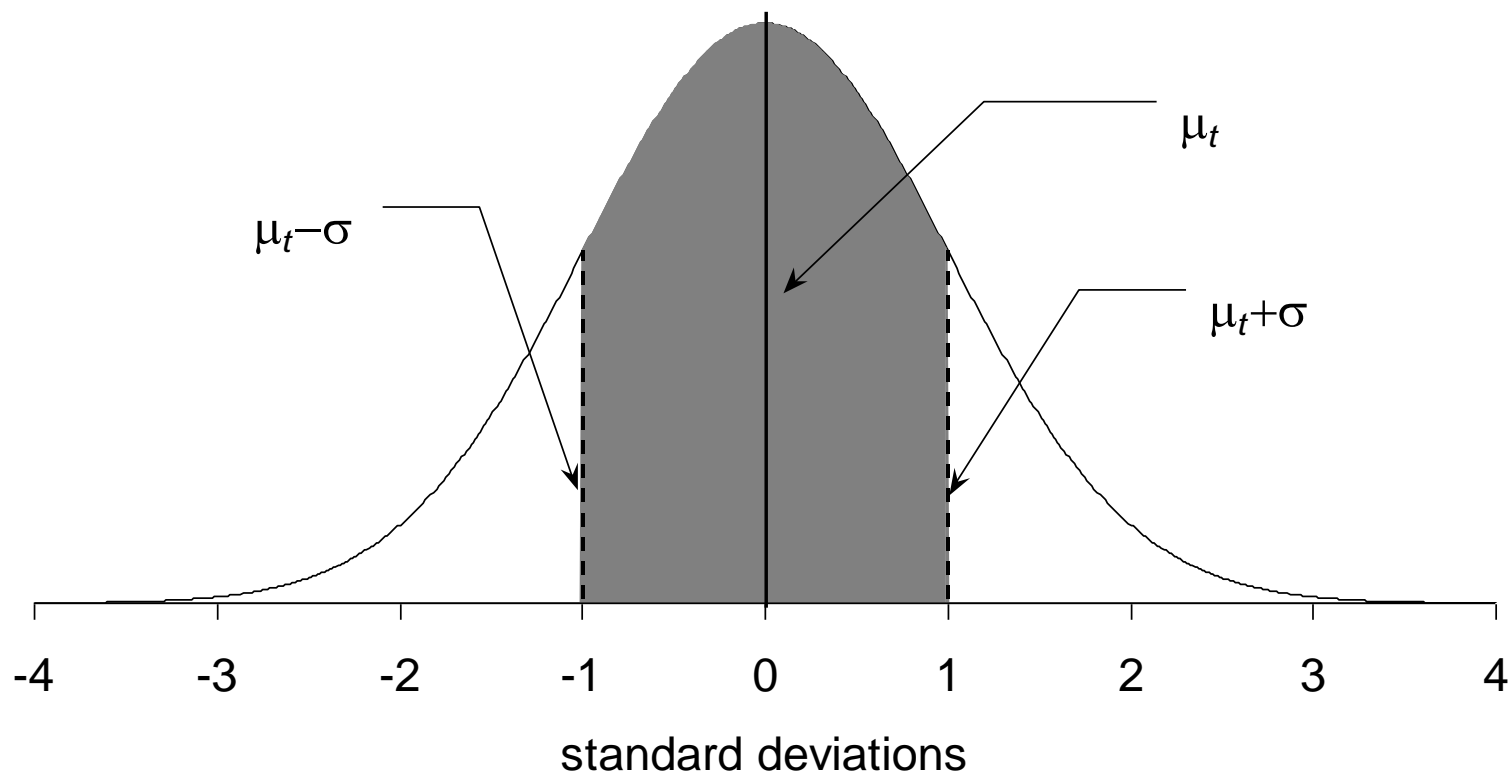


Typical Competitor's Bath

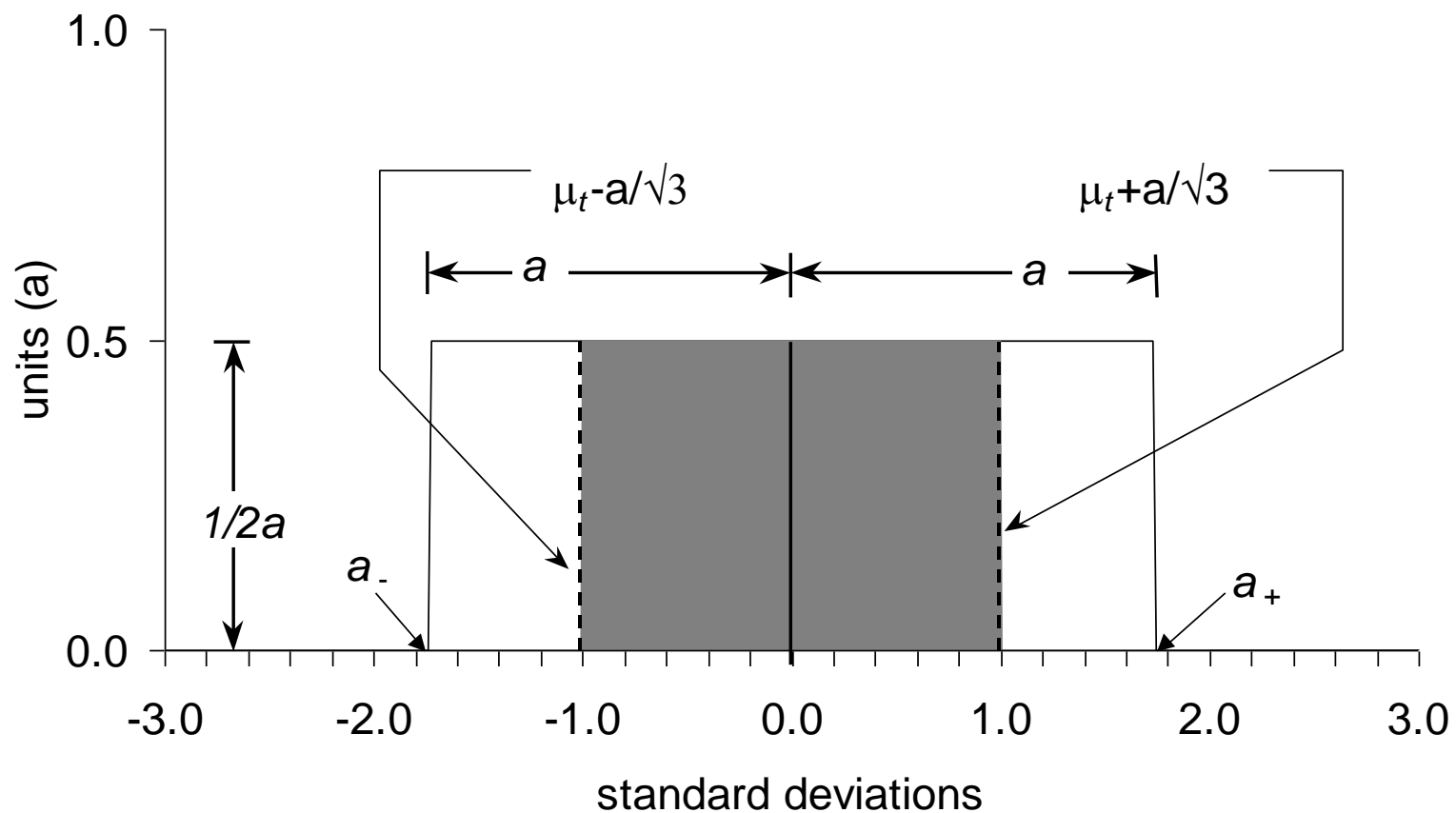
Hart Model 7011

- Обычно производитель дает параметры неоднородности ванны
- Например  $\pm 0.0043 \text{ }^\circ\text{C @ } 420 \text{ }^\circ\text{C}$
- $\pm 0.0043 \text{ }^\circ\text{C}$  это предел неоднородности и ничего не говорит о распределение температур по объему.

## Normal Distribution



## Rectangular Distribution



## Какое распределение использовать?

- Прямоугольное распределение
  - Деление на квадратный корень 3 для оценки стандартного отклонения
- Нормальное распределение
  - Деление на “k=” для перевода к стандартному отклонению, чаще: 2 или 3

## Практический расчет:

- Неоднородность ванны заявлена  $\pm 0.0043$  ° C
  - Распределение неопределенности не указано
- Стандартное отклонение?

Перевод  $\pm 0.0043$  ° C в стандартное отклонение:

Ответ  $\pm 0.0025$  ° C

# Пример неопределенности

<b>Температура = 420 °C (точка затвердевания цинка)</b>		
<b>Компонент (стандартная неопределенность @ <math>k=1</math>)</b>	<b>Type</b>	<b>Value</b>
Стандартная ошибка измерения сопротивления (ограничения - $s$ среднего, $n = 30$ )	A	0.52 mK
Неоднородность процесса (проверка)	A	3.00 mK
Калибровка эталонного ПТС	B	1.10 mK
Эффект погружения	B	1.50 mK
Однородность неопределенности ЭПТС	B	0.50 mK
Однородность ванны	B	2.50 mK
Термометр для UUT (6 ppm)	B	
Термометр эталона (6 ppm)	B	
<b>Общее</b>		
<b>Total (combined &amp; expanded @ <math>k=2</math>)</b>		



- Влияние величины не обязательно измеряется в единицах температуры
- Всегда преобразовывается в единицы температуры
- Например деление показаний чувствительности сопротивления термометра на чувствительность ПТС ( $\Omega/^\circ\text{C}$ ) в интересах температуры

$$U_T = \frac{U_R}{\text{Sensitivity}}$$

## Точность термометра

$$U_T = \frac{U_R}{S}$$

Например:

100Ω RTD при 0° C,

0.01Ω чувствительность термометра

RTD чувствительность= 0.4 Ω/° C

$$U_T = \frac{0.01\Omega}{0.4 \Omega/^\circ C} = 0.025^\circ C$$

## Точность термометра – UUT

Пример:

Дано: 6 ppm для 25 - 400  $\Omega$  вход  
(100  $\Omega$  эталон, 1mA)

Показания: 256  $\Omega$  (100  $\Omega$  RTD @ 420  $^{\circ}\text{C}$ )

RTD чувствительность: 0.35  $\Omega / ^{\circ}\text{C}$

## Чувствительность термометра – UUT

$$a_R = 6 \times 10^{-6} \times 256 = 1.536 \times 10^{-3} \Omega$$

$$a_T = \frac{1.536 \times 10^{-3} \Omega}{0.35 \Omega / ^\circ C} = 4.389 \times 10^{-3} ^\circ C$$

$$U_T = \frac{4.389 \times 10^{-3}}{\sqrt{3}} = 0.0025 ^\circ C$$

## Readout Accuracy - SPRT

Spec: 6 ppm for 25 to 400  $\Omega$  input  
(100  $\Omega$  reference resistor, 1mA)

Reading: 65  $\Omega$  (25  $\Omega$  SPRT @ 420 ° C)

SPRT Sensitivity: 0.09  $\Omega/^\circ\text{C}$

$$a_R = 6 \times 10^{-6} \times 65 = 3.9 \times 10^{-4} \Omega$$

$$a_T = \frac{3.9 \times 10^{-4} \Omega}{0.09 \Omega/^\circ\text{C}} = 4.33 \times 10^{-3} ^\circ\text{C}$$

$$U_T = \frac{4.33 \times 10^{-3}}{\sqrt{3}} = 0.0025 ^\circ\text{C}$$

# Пример неопределенности

<b>Температура = 420 °C (точка затвердевания цинка)</b>		
<b>Компонент (стандартная неопределенность @ k=1)</b>	<b>Type</b>	<b>Value</b>
Стандартная ошибка измерения сопротивления (ограничения - s среднего, $n = 30$ )	A	0.52 mK
Неоднородность процесса (проверка)	A	3.00 mK
Калибровка эталонного ПТС	B	1.10 mK
Эффект погружения	B	1.50 mK
Однородность неопределенности ЭПТС	B	0.50 mK
Однородность ванны	B	2.50 mK
Термометр для UUT (6 ppm)	B	2.50 mK
Термометр эталона (6 ppm)	B	2.50 mK
<b>Общее</b>		
<b>Total (combined &amp; expanded @ k=2)</b>		

- Комбинир Способы А и В
- Уравнение расчета неопределенности
- Умножение на “коэффициент охвата” для расширенной неопределенности

- **RSS (корень-суммы-квадратов)**

Метод расчета полной неопределенности при учете их влияния в отдельности

$$b_{total} = \sqrt{(b_1)^2 + (b_2)^2 + (b_3)^2 + (b_n)^2}$$



# Пример неопределенности

<b>Температура = 420 °C (точка затвердевания цинка)</b>		
<b>Компонент (стандартная неопределенность @ k=1)</b>	<b>Type</b>	<b>Value</b>
Стандартная ошибка измерения сопротивления (ограничения - s среднего, $n = 30$ )	A	0.52 mK
Неоднородность процесса (проверка)	A	3.00 mK
Калибровка эталонного ПТС	B	1.10 mK
Эффект погружения	B	1.50 mK
Однородность неопределенности ЭПТС	B	0.50 mK
Однородность ванны	B	2.50 mK
Термометр для UUT (6 ppm)	B	2.50 mK
Термометр эталона (6 ppm)	B	2.50 mK
<b>Общее</b>		<b>5.63 mK</b>
<b>Общее (полная и расширенная @ k=2)</b>		<b>11.26 mK</b>

# Спасибо.

Вебинары:

[www.flukecal.com/webseminars](http://www.flukecal.com/webseminars)

Решения для оснащения метрологических лабораторий:

[www.flukecal.com/signmeup](http://www.flukecal.com/signmeup)

