

Калибровка датчиков влажности

Национальный стандарт на эксплуатационный прибор

Майк Баннистер
Michell Instruments Limited

www.michell-instruments.com

План

- Введение
- Основы влажности
- Единицы измерения
- Способы регистрации
- Международные стандарты и единство измерения
- Погрешность измерения
- Методы калибровки
- Ограничения
- Протокол калибровки
- Типичные калибровочные графики

Введение



Что такое калибровка?

- Калибровка это сравнение измеренной величины с истинным значением. Она имеет формальное определение по нормам ISO:
 - “Калибровка: набор операций, который учреждает под указанными условиями отношение между величинами отображаемыми измерительным прибором..... И соответствующими значениями величины, которые реализованы вторичным эталоном
- Регулировка - установка минимального отклонения от измеренной величины и истинного значения. Вновь, согласно ISO:
 - “Регулировка: действие предназначенное приводить измерительный прибор в состояние качества и свободы от погрешности измерения соответствующей его использованию”

Другие обозначения

- Государственный эталон
 - “Стандарт признан официальным национальным решением служить в стране, как основа для установления значения всех других стандартов численно описанных.” Национальный стандарт является в стране часто ‘основным стандартом’
- Единство измерения
 - “Свойство результата измерительного стандарта, обычно международного или национального стандарта, непрерывной цепочкой сопоставлений”
- Все определения взяты из ISO 10 102-1:(1992)

Почему калибраторы влажности важны?

- Регулярная калибровка датчиков влажности важна не только для сохранения единства измерений, но также для обеспечения надлежащего функционирования рассмотренного процесса
- Большинство приборов влажности нуждаются в калибровке по крайней мере ежегодно для обеспечения соответствующих технических характеристик – некоторые нуждаются в калибровке каждые несколько месяцев
- Калибровка может потребоваться либо при проверке либо при установке, следующей за сертификацией

Основы влажности



Что такое водяной пар?

- Водяной пар присутствует во всех газах
- Он ведет себя как газовый компонент в смеси с воздухом или другими газами
- В значительной степени подчиняется газовым законам
 - Бойля: $PV = \text{Constant}$
 - Чарльза: $V/T = \text{Constant}$
 - Дальтона: $P_t = P_1 + P_2 + P_3 + \dots$
 - Идеальный: $PV = nRT$
 - И т.д.

Законы.....

- Закон Дальтона формулирует, что

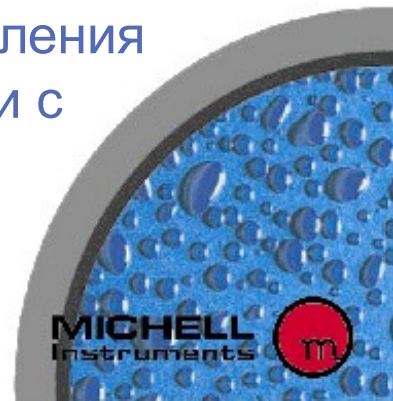
$$P_{AIR} = P_{N_2} + P_{O_2} + P_{CO_2} + P_{H_2O} + \dots$$

Это означает, что молекулы воды в газе делают вклад в общее давление газа такое же как и другие молекулы

- Объединенный газовый закон формулирует, что

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

Это означает, что в реальной среде изменения давления водяного пара может быть легко подсчитано в связи с изменением температуры и объёма



Единицы измерения

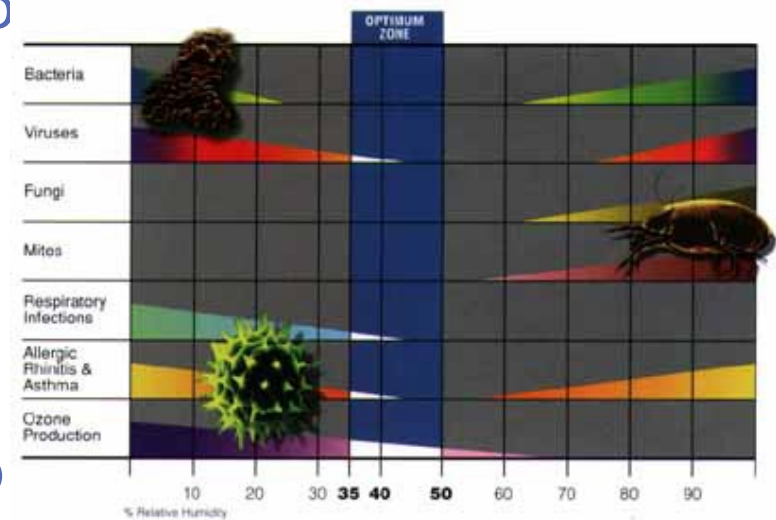
Точка росы

- Это фактически температура при которой возникает конденсация, если газ охлаждён при постоянном давлении
- В сущности, точка росы (или точка инея) это точный удобный абсолютный метод описания давления водяного пара газа, в простых и привычных единицах



Относительная влажность

- Это отношение действующего значения давления водяного пара к его значению насыщения при данной температуре
- Относительная влажность это очень полезный параметр для сухих технологий или в отношении измерения к водной активности в сухих изделиях



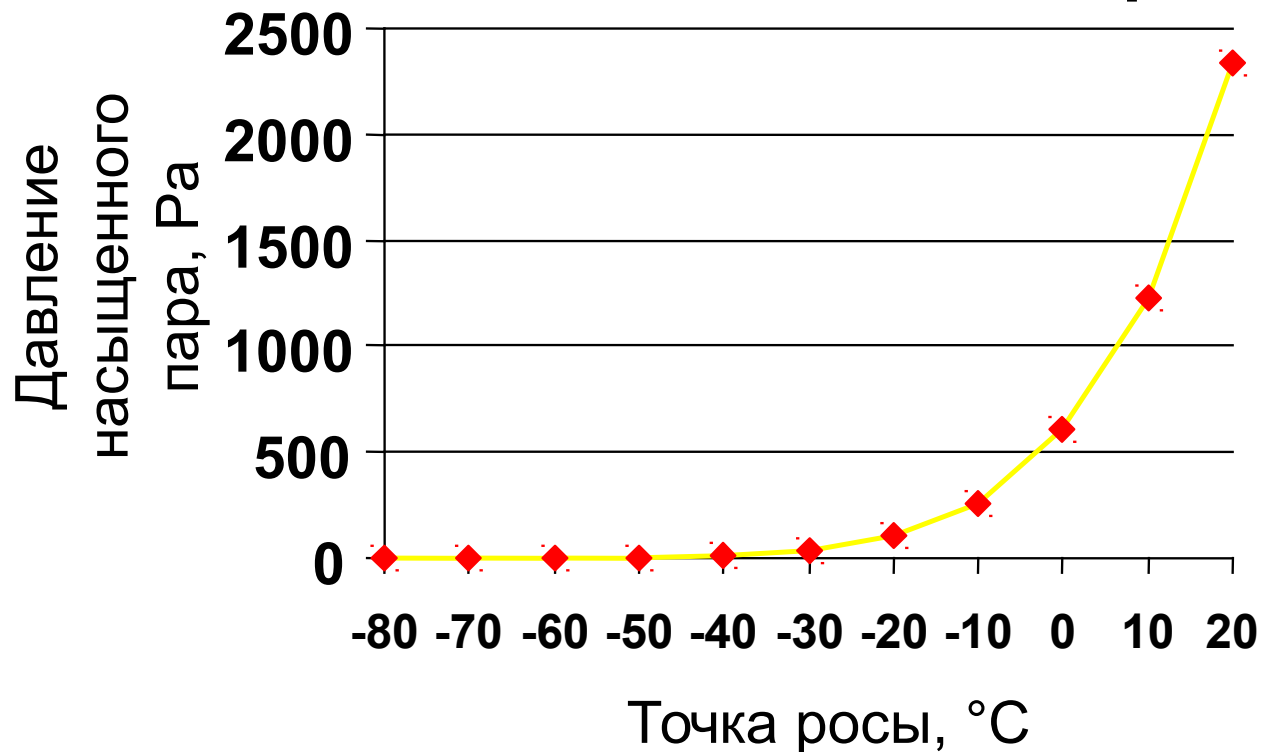
Отношение концентрации КОМПОНЕНТОВ СМЕСИ

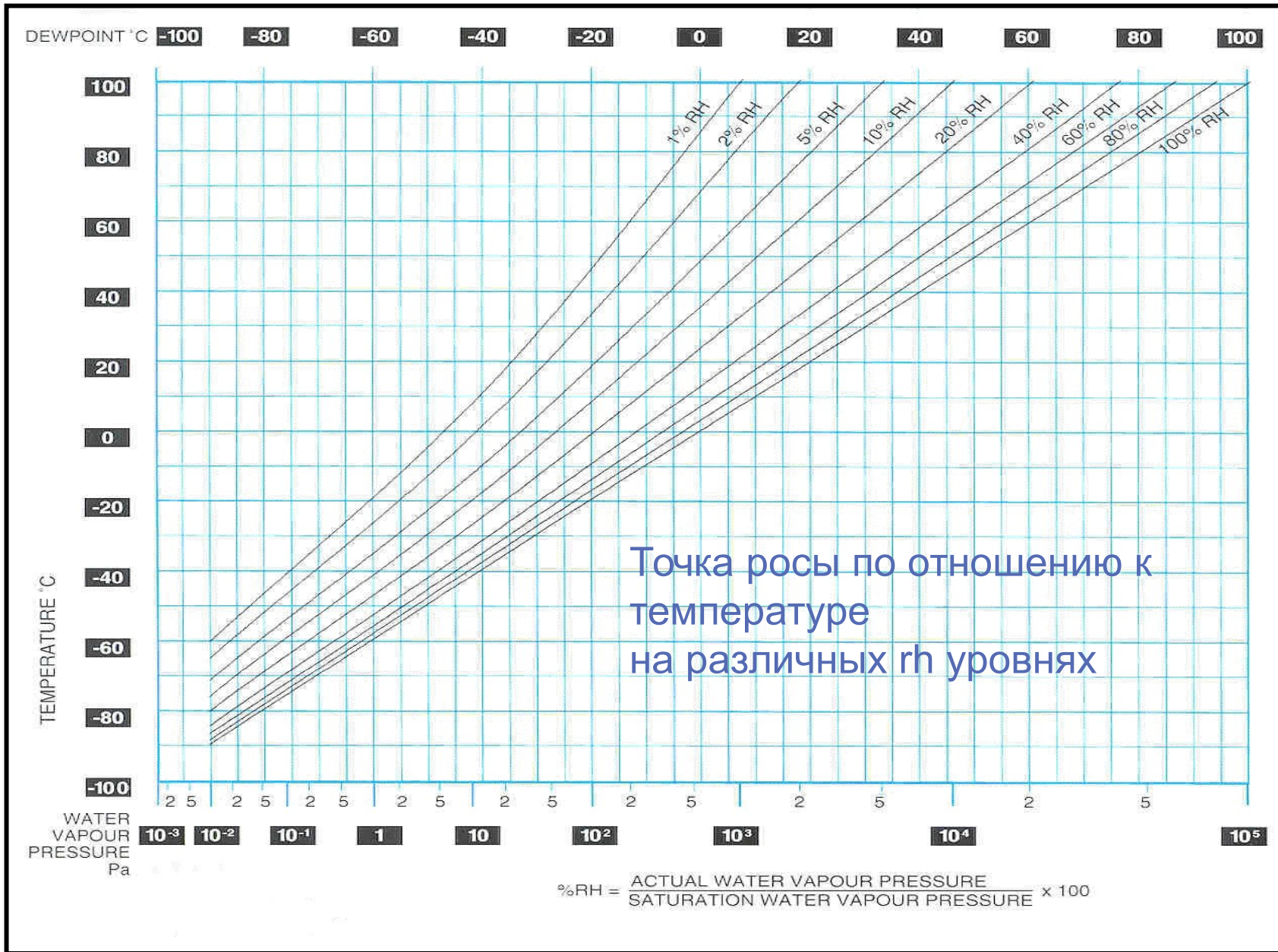
- Это масса водяного пара на единицу массы сухого воздуха обычно выражаемого в gkg^{-1}
- Отношение смеси чаще всего используется в отношении сухих применений, где важно знать массу воды в количестве твердого вещества- что имеет прямое отношение к весовой гравиметрическим технологиям



Зависимость давления насыщенного пара от точки росы

Давление насыщенного пара в зависимости от точки росы

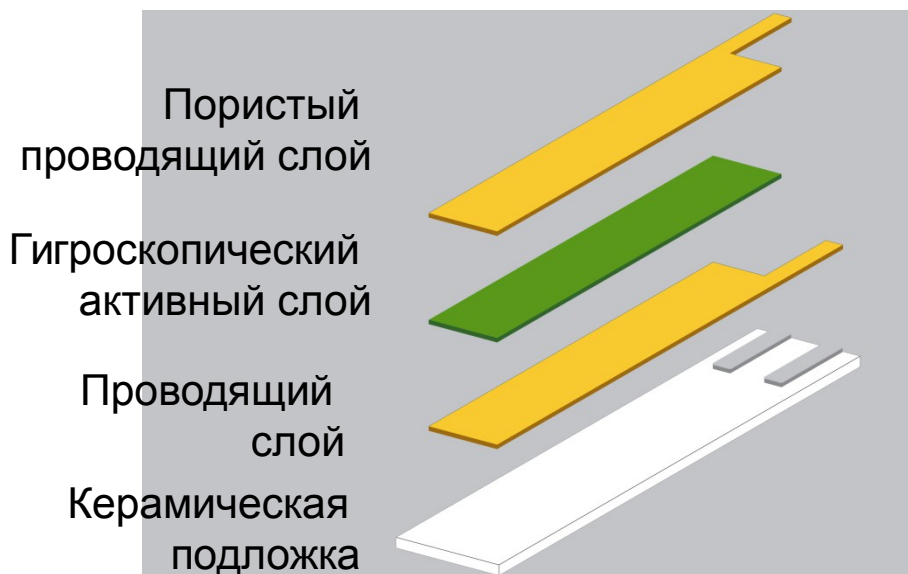




Способы регистрации

Импедансный датчик точки росы

Импедансный датчик точки росы предлагает диапазон измерений от -100 до $+20^{\circ}\text{C}$ точки росы. Современные датчики сравнительно недорогие, но надёжные и могут дать удовлетворительную точность. Повторная калибровка требуется периодически.



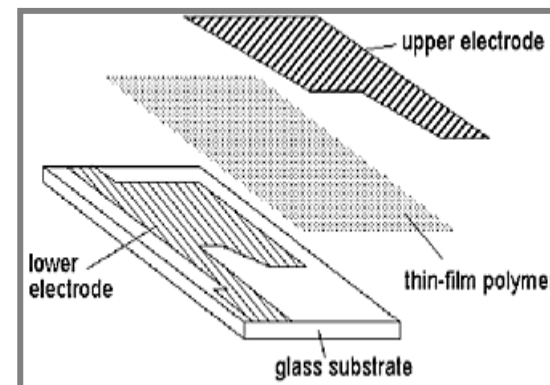
Емкостной датчик

относительной влажности

Большинство датчиков основано на принципе поглощения в пористой полимерной пленке, которая имеет непосредственный электрический отклик на изменения относительной влажности. Температура среды ДОЛЖНА быть измерена и записана для предоставления достоверных данных.

Может дать хорошую воспроизводимость, но нужна регулярная калибровка для достоверности.

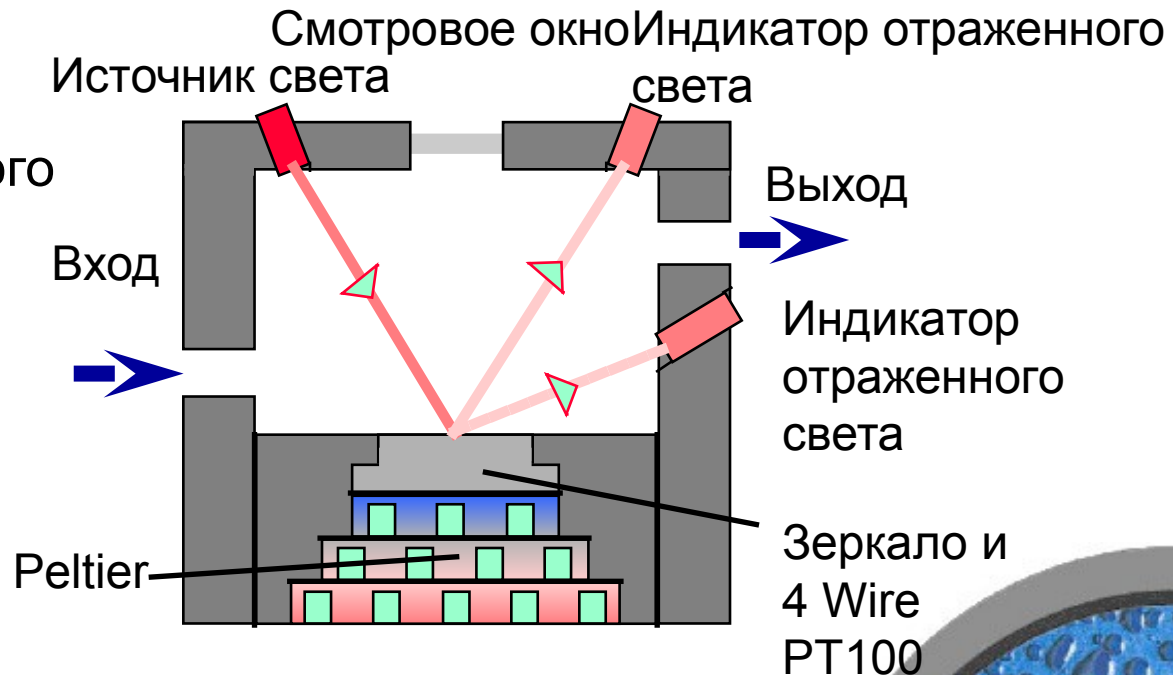
Быстрая реакция в отношении диапазона влажности



Датчик точки росы на охлаждаемом зеркале

Принцип датчика на охлаждаемом зеркале основывается на охлаждении металлического зеркала термоэлектрическим куллером. В точке росы, температура зеркала измеряется точным платиновым термометром сопротивления.

В основном, высокая точность и долговременная устойчивость.



Международные стандарты и единство измерения

Система стандартов



National Physical
Laboratory, UK



Physikalisch-Technische
Bundesanstalt, Germany



Национальная
исследовательская
лаборатория метрологии,
Япония



National Institute of
Standards and
Technology, USA

Национальные стандарты



Служба
Аккредитации
Соединённого
Королевства



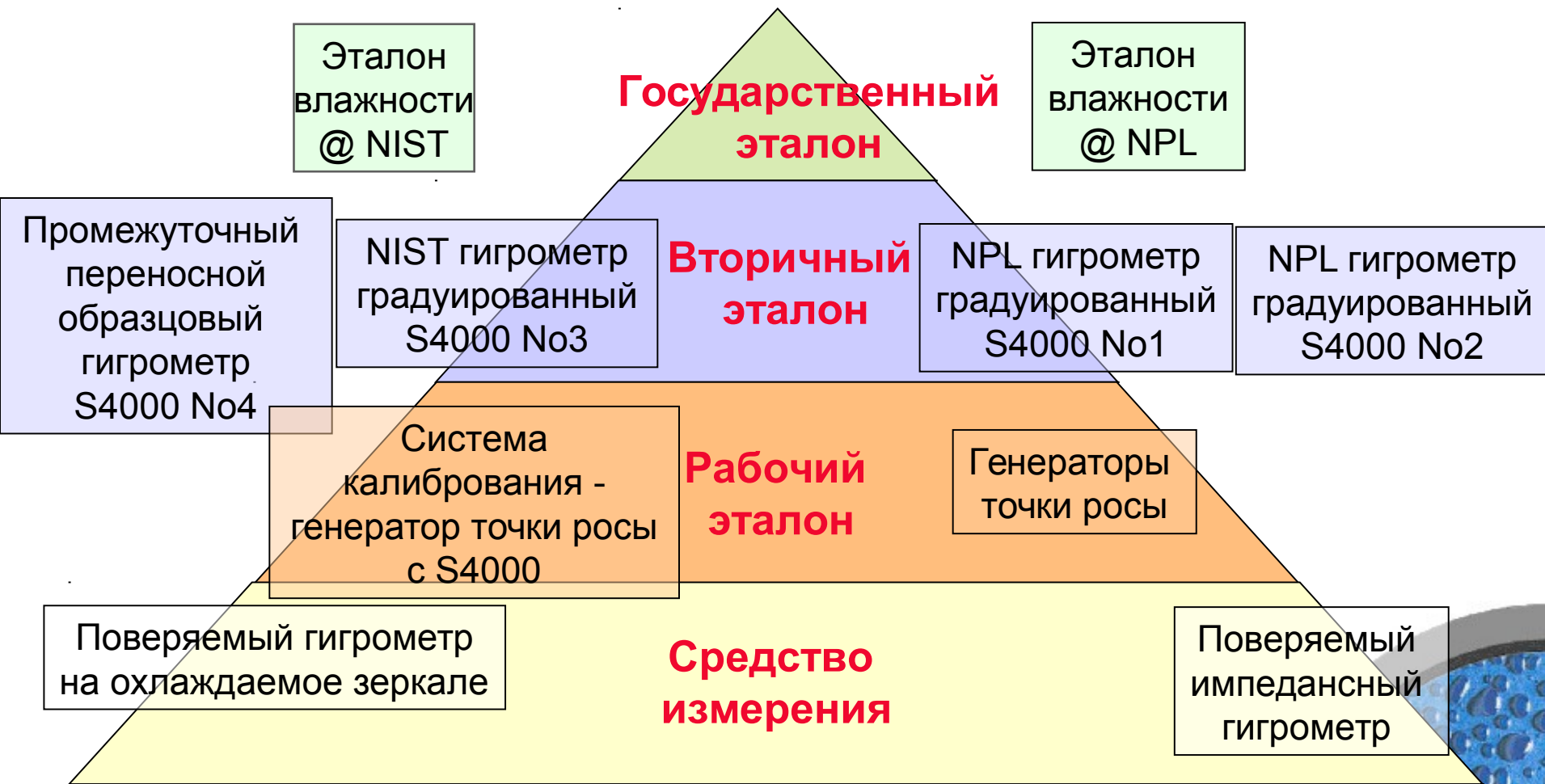
Deutsche
Kalibrierdienst

Национальные системы
аккредитации



Международные
соглашения

Калибровочная схема соподчинения эталонов



Государственные эталоны



Образцовые генераторы влажности

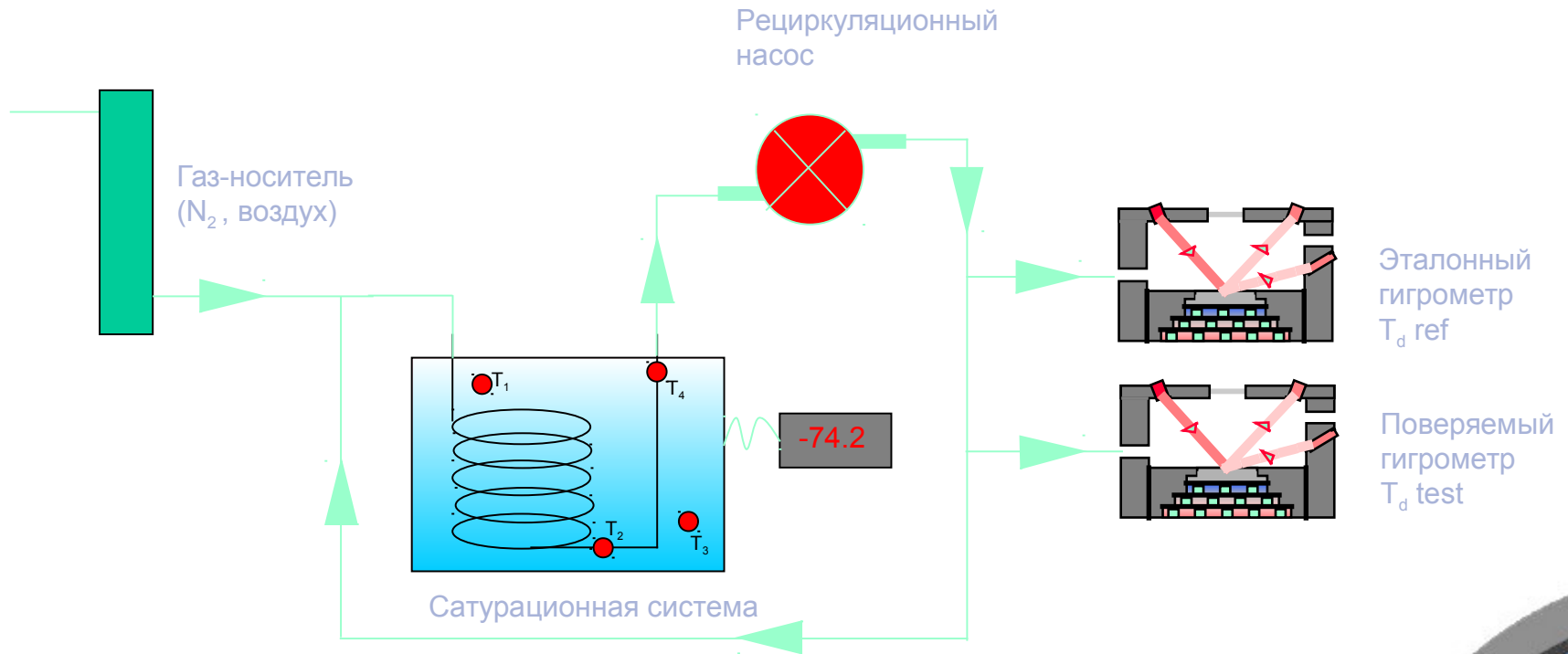
Двух температурный генератор

- Газ насыщается, проходя через камеру заполненную водой (или льдом), которая регулируется при определённой температуре ниже температуры окружающей среды
- Как правило рециркулирующий
- Средний объём воздуха
- Пригоден для контроля температурных образцов

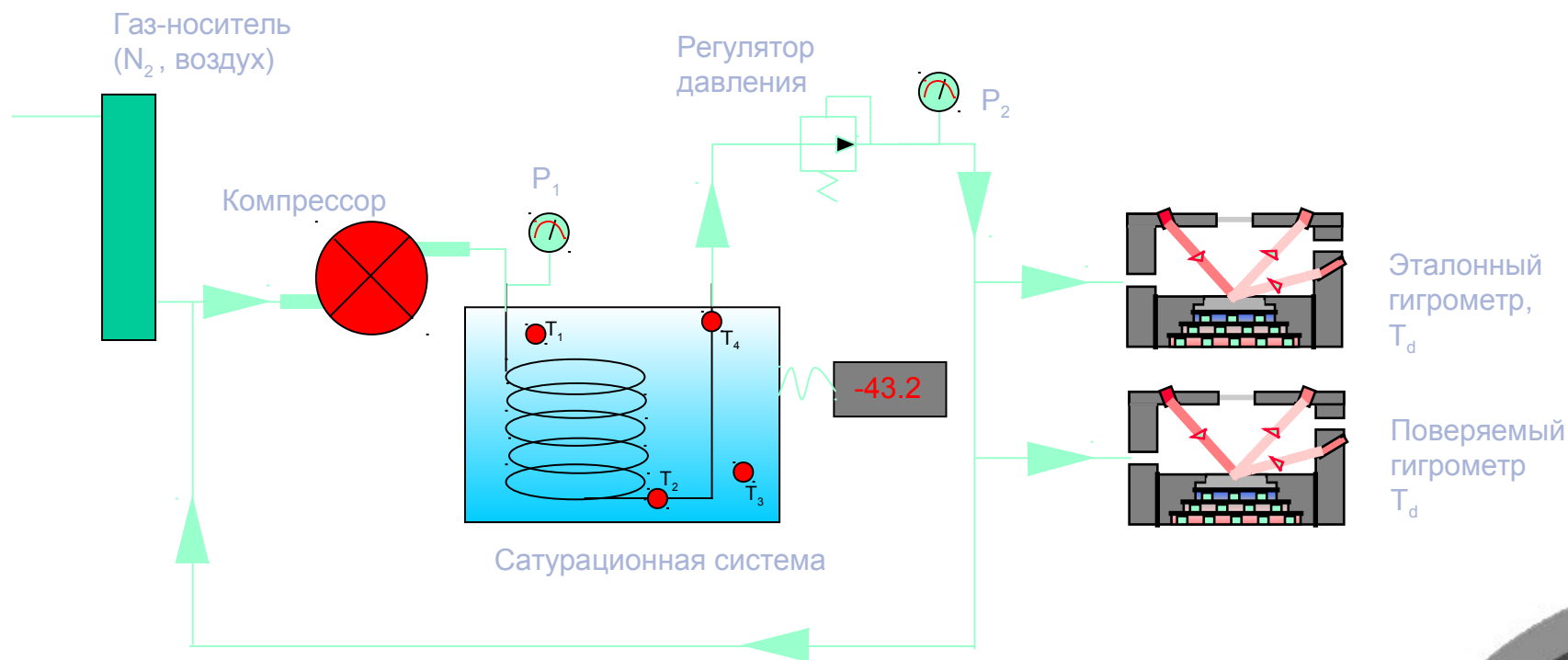
Генератор двух давлений

- Газ насыщается при фиксированной температуре и давлении
- После декомпрессии, точное измерение давления позволяет точно определять содержание влаги
- Контролирует большой объём воздуха
- Пригоден для контроля образцов давление/масса (собственная масса)
- Быстрота реакции

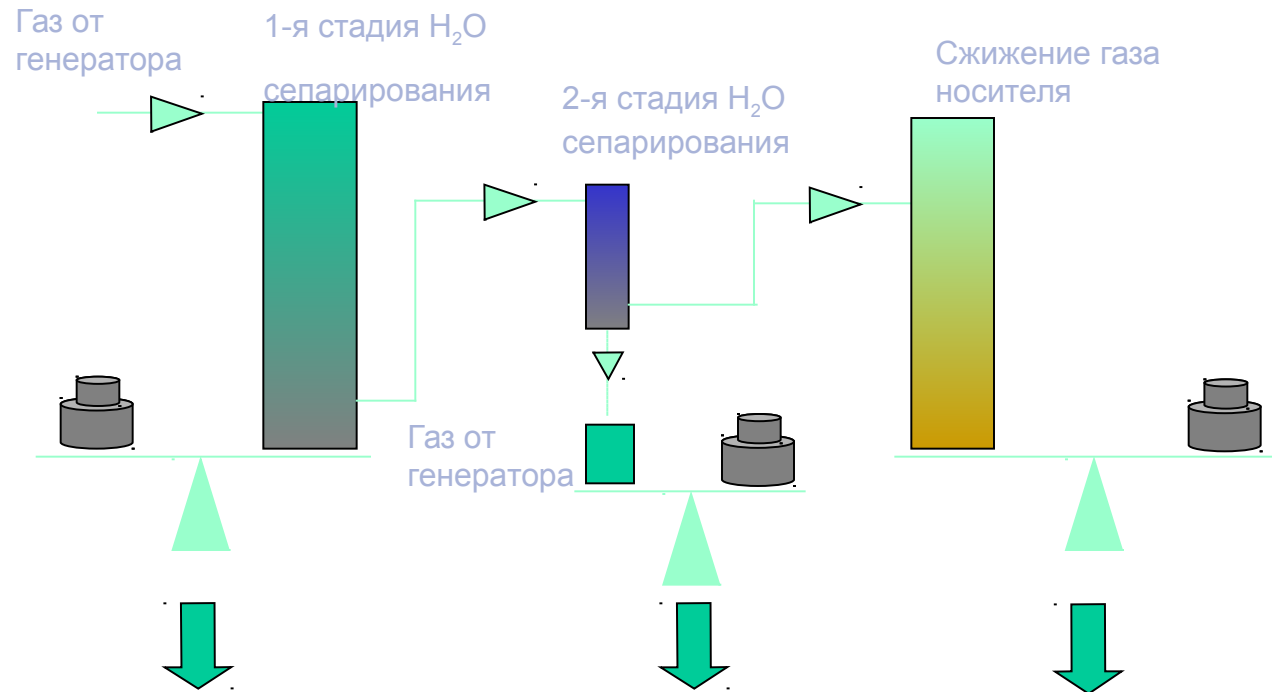
Двух температурный генератор



Генератор Двух Давлений



Гравиметрический гигрометр



отношение
концентраций
компонентов
смеси =

Изменение
массы во
влагопоглоти
теле 1

+

Изменение
массы во
влагопоглоти
теле 2

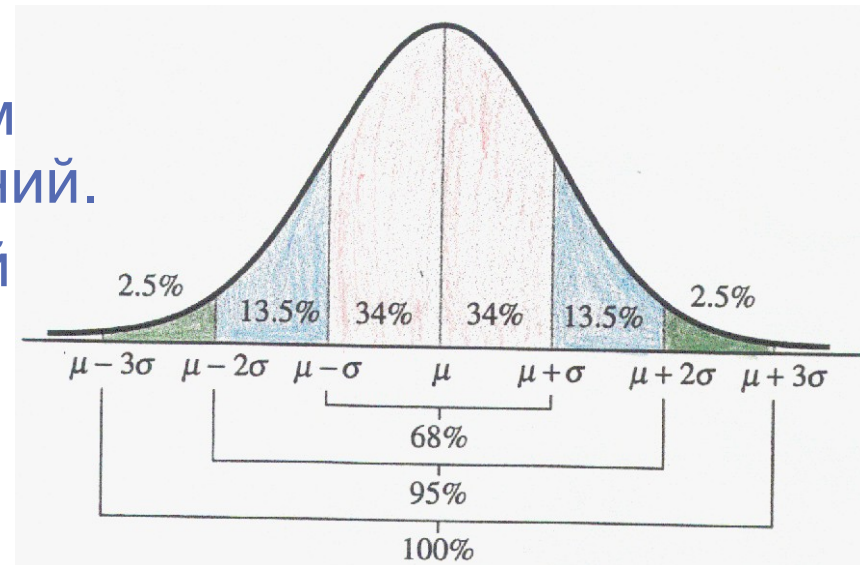
Масса газа-
носителя

Погрешность измерения

Погрешность измерения

Период неточности определяется как поле допуска, в котором (при $k=2$) измеренное значение будет согласовано с **ДЕЙСТВИТЕЛЬНЫМ** значением для 95 % проведенных измерений.

Это фактически доверительный интервал для измерения и он может быть посчитан объединением различных экспериментальных и теоретических данных на систему и рабочее средство измерения, согласно хорошо доказанной формуле.



Погрешность измерения

Погрешности рабочих СИ и калибровочных эталонов одинаково важны.

Прослеживаемая лаборатория типично имеет неточность порядка $\pm 0.1^\circ\text{C}$ точки росы ($k=2$ граница).


Типичный полевой прибор может иметь погрешность гораздо хуже.

Погрешность измерения

Калибровка гигрометра будет итогом двух составляющих— смещение (часто определяется как *точность*) в данной точке и в погрешности значения. Так например, если есть смещение в $+0.2$ °С точки росы и неточность калибровки ± 0.1 °С точки росы, тогда вы имеете 95 % уверенность, что истинное значение = (показания -0.1) ± 0.2 .



Погрешность измерения

 <p>0179 Calibration performed on permanent laboratory premises</p>	<p align="center">Schedule of Accreditation issued by United Kingdom Accreditation Service 21 - 47 High Street, Feltham, Middlesex, TW13 4UN, UK</p>
	<p align="center">Michell Instruments Ltd Issue No: 010 Issue date: 14 November 2003</p>

DETAIL OF ACCREDITATION


Measured Quantity Instrument or Gauge	Range	Best Measurement Capability Expressed as an Expanded Uncertainty ($k=2$)	Remarks
DEWPOINT	+20°C to -60°C -60°C to -75°C -75°C to -90°C	0.15°C to 0.29°C 0.29°C to 0.45°C 0.45°C to 0.85°C	
END			

Тарировочная NPL таблица результатов

Generated Dew-point		Test Hygrometer			
Temperature °C	Uncertainty °C	Measured Resistance Ω	Standard Deviation Ω	Calculated Dew-point °C	Correction Required °C
+18.79	±0.05	107.308	0.001	+18.78	+0.01
+0.93	±0.05	100.339	0.002	+0.89	+0.04
-19.18	±0.05	92.452	0.007	-19.23	+0.05
-40.28	±0.05	84.133	0.009	-40.32	+0.04
-60.81	±0.08	76.049	0.019	-60.68	-0.13
-74.68	±0.15	70.534	0.038	-74.50	-0.18

NPL свидетельство о поверке

NATIONAL PHYSICAL LABORATORY
Teddington, Middlesex, UK TW11 0LW Telephone 0181 972 2222
DIVISION OF MECHANICAL AND OPTICAL METROLOGY


Certificate of Calibration
OPTICAL DEW-POINT HYGROMETER
93352/93354

FOR: Michell Instruments Ltd
Unit 9
Nuffield Close
Nuffield Road
Cambridge
CB4 1SS



For the attention of: G Daines

IDENTIFICATION: Optical dew-point hygrometer
Model: Michell Series 4000
Serial No: 93352/93354

PREVIOUS CERTIFICATE: 08C041/93010 31 December 1993

DATES OF CALIBRATION: 6 September to 16 October 1995

UNCERTAINTY: The stated uncertainties are for a confidence probability of not less than 95%

Reference: 08C041/95009
Date of issue: 24 October 1995
Checked by:  **Signed:** 
Name: David Armitage
Page 1 of 4
for Director

The certificate is valid only if accompanied by original national standards, unless the user is otherwise notified. It is not valid for use as evidence of compliance with any other standards or specifications. The certificate is not valid for use as evidence of compliance with any other standards or specifications. The certificate is not valid for use as evidence of compliance with any other standards or specifications.

NPL 08/98/2

NATIONAL PHYSICAL LABORATORY
Continuation Sheet

RESULTS

The results of the calibration are given in the tables below. Each value of the generated dew-point temperature is quoted with its overall uncertainty. The test hygrometer results quote the mean and the standard deviation of ten readings for that instrument. The figures in the final column show the correction to be applied to the instrument.


Generated Dew-point		Test Hygrometer			
Temperature °C	Uncertainty °C	Measured Resistance Ω	Standard Deviation Ω	Calculated Dew point °C	Correction Required °C
+18.79	± 0.05	107.906	0.001	+18.78	+0.01
-0.93	± 0.05	100.339	0.002	+0.89	+0.04
-19.18	± 0.05	92.452	0.007	-19.23	+0.05
-40.28	± 0.05	84.133	0.009	-40.32	+0.04
-60.81	± 0.08	76.049	0.019	-60.68	-0.13
-74.68	± 0.15	70.534	0.038	-74.50	-0.18

NOTES

- A film thickness setting of 0.5 was used for all measurements.
- The measurement head was provided with an integral cooling unit. The unit was set to 0 °C for -20 °C dew point, -10 °C for -40 °C dew point, 20 °C for -60 °C dew point and -30 °C for -75 °C dew point. The unit was switched off for dew points above 0 °C.
- The standard deviation, in degrees Celsius, of the calculated dew-point temperature can be obtained by multiplying the standard deviation of the measured resistance by 2.5 °C Ω^{-1} .
- The stabilisation times for the calibration were between 1 and 30 hours.

UNCERTAINTIES

The uncertainty figures quoted in the above tables represent a combination of the observed variability in the measurements and estimated uncertainties arising from the temperature gradients within the NPL Generator bath, temperature conditioning of air entering the saturator and the calibration of thermometers and other ancillary equipment. They represent an uncertainty of measurement at the 95 % confidence level.

Reference: 08C041/95009
Checked by: 
Page 4 of 4

NPL 08/98/2

Методы калибровки

Общее представление о калибровочных системах



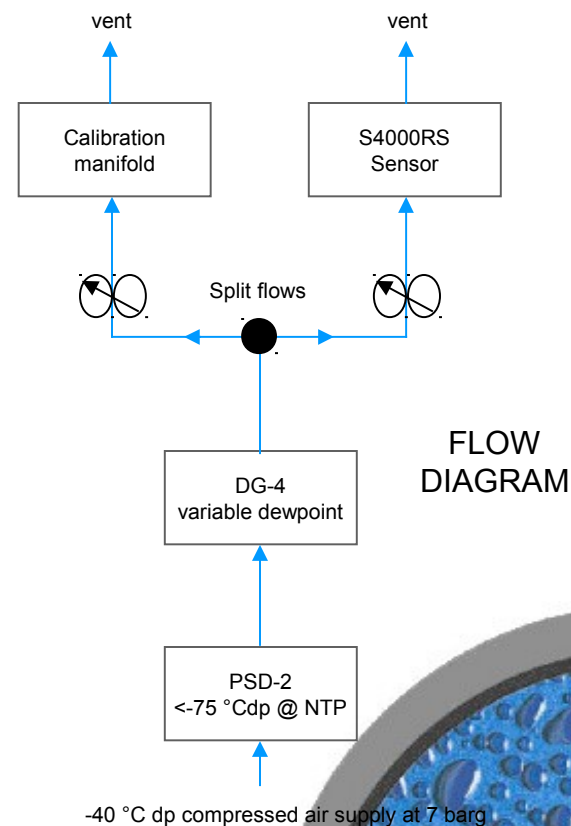
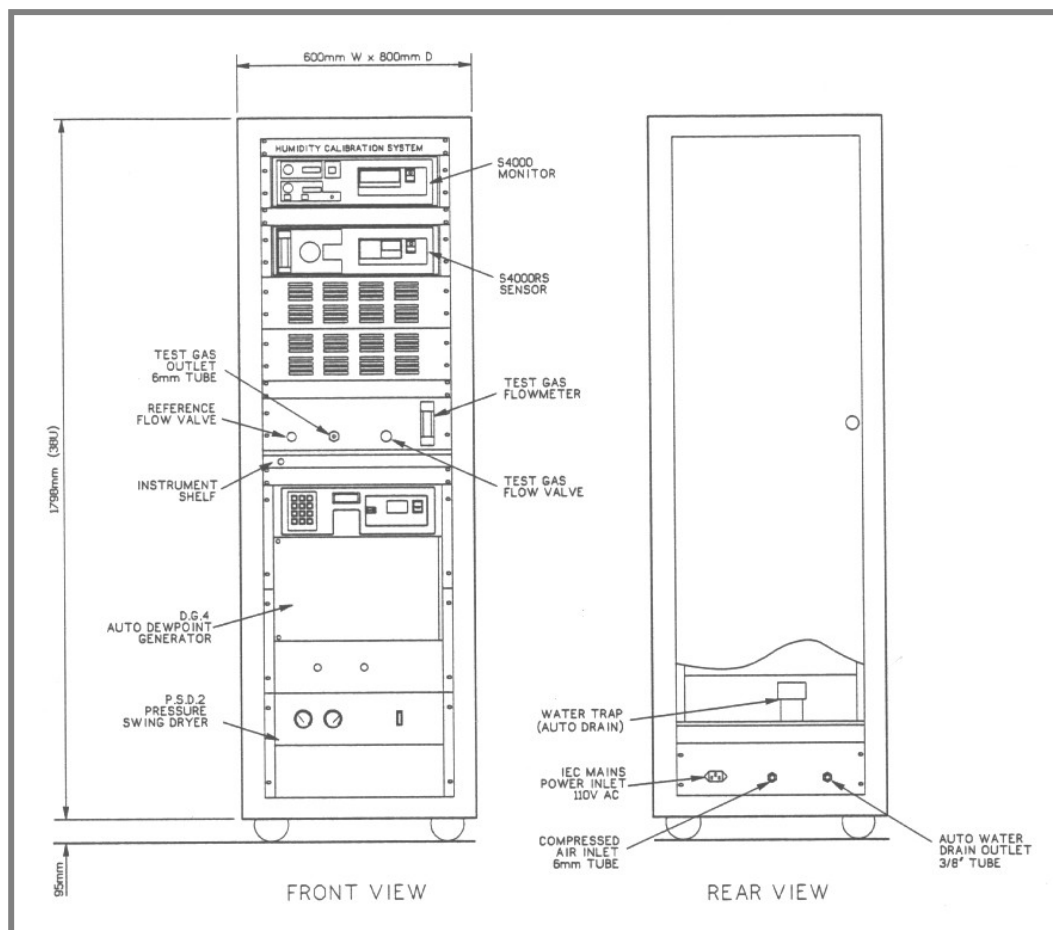
Общее представление о калибровочных системах

Системы могут быть сконфигурированы для калибровки различных типов гигрометров -

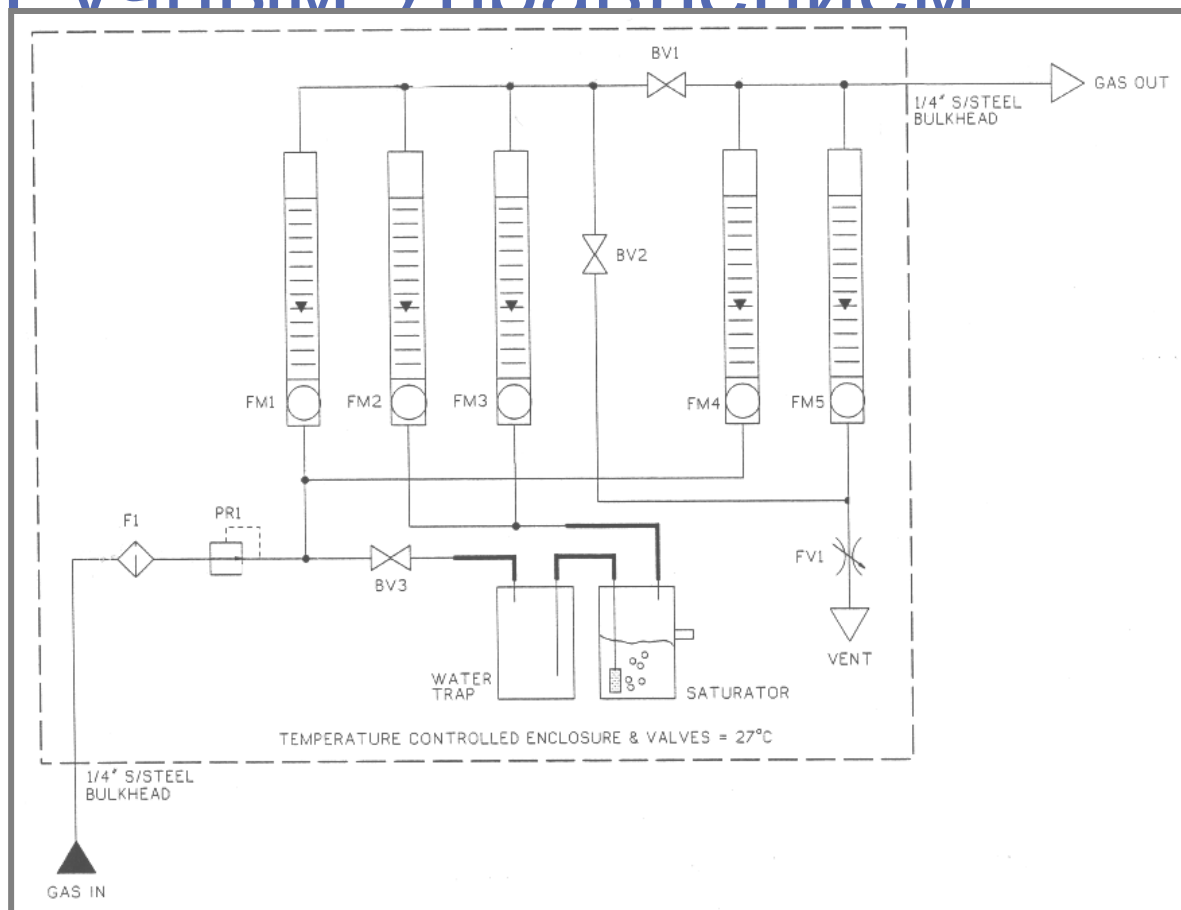
- Емкостные датчики точки росы
- Гигрометры на охлаждаемом зеркале
- Зонды относительной влажности
- Электролитические гигрометры



Блок-схема калибровочной системы точки росы



Генератор Точки Росы Двухступенчатого Типа Смешивания С Ручным Управлением

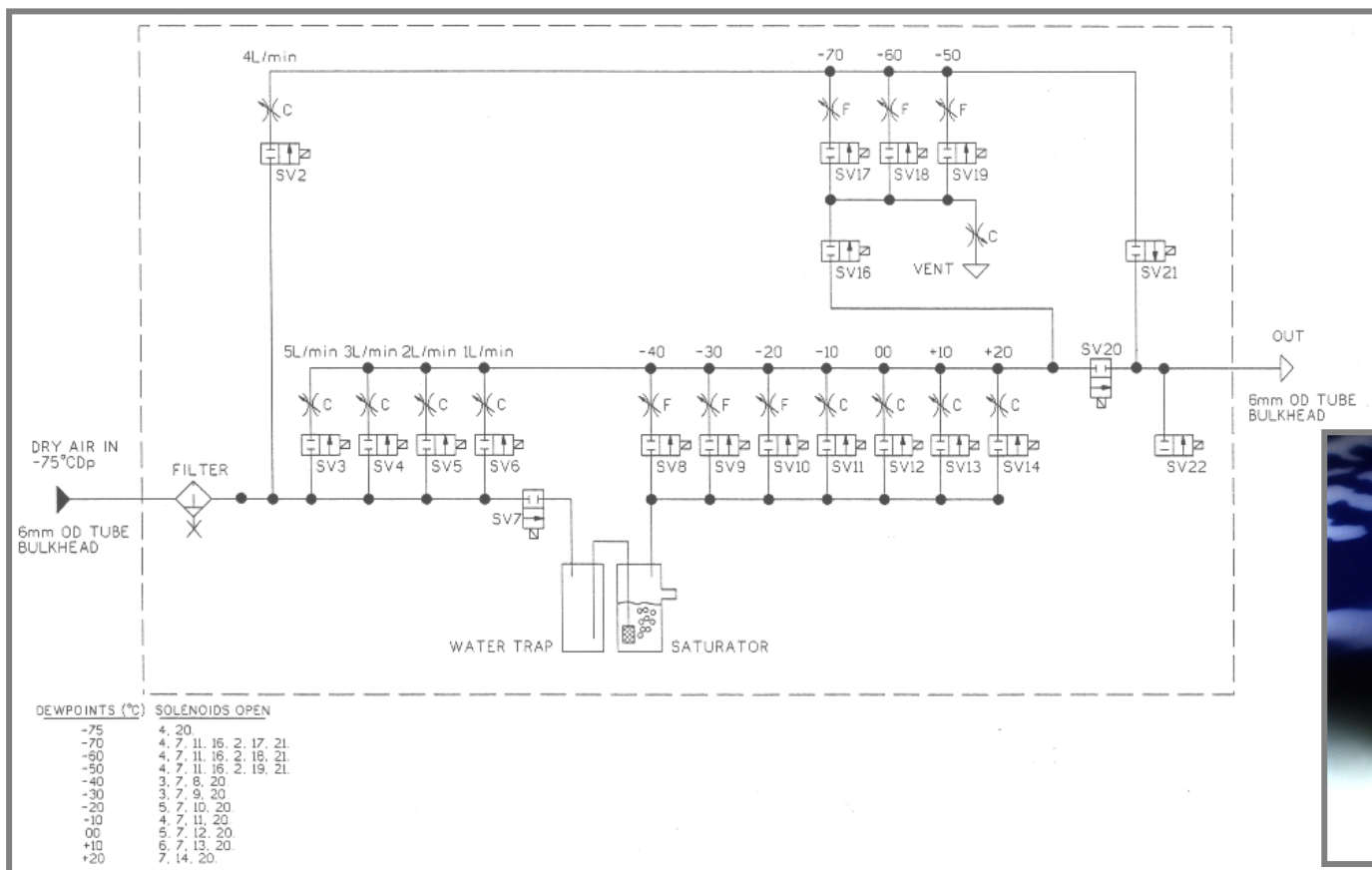


Генератор Точки Росы С Ручным Управлением.

Установки Пропорций Смешивания

Точка росы °С	Расход, л/мин.			
	Первая ступень		Вторая ступень	
	Dry FM1	Wet FM2+FM3	Dry FM4	Wet FM5
-75			4	
-60	3	0.4 + 0.03	4	0.015
-50	3	0.4 + 0.03	2	0.025
-40	5	0.030		
-30	5	0.0825		
-20	2	0.090		
-10	3	0.30 + 0.060		
0	2	0.650		
+10	1	1.05		
+20	0	1.2 + 0.150		

Автоматический Двухступенчатый Генератор



Генераторы Относительной Влажности

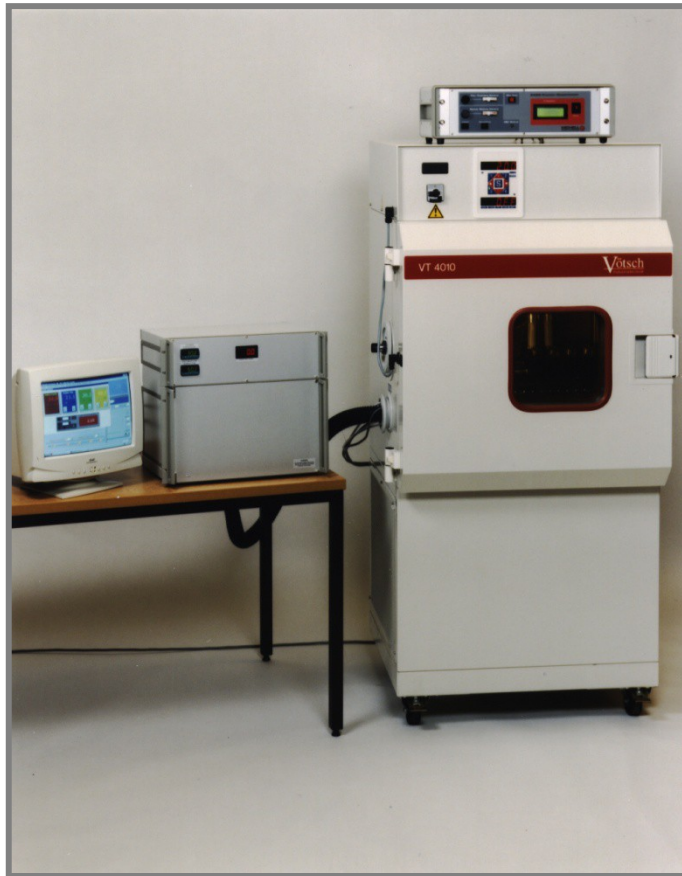
Режим работы	Ручной или автоматический с помощью ПК
Диапазон Генерирование влажности	<1...100 % ОВ Контроллер массового расхода, по времени или разделению потока
Подача воздуха	Встроенный восстанавливающийся осушитель или внешняя подача воздуха
Компрессор	Опция, безмаслянный тип
Точность	Типично 0.5 % ОВ

Портативный генератор влажности и температуры



Обеспечивает регулирование по замкнутому циклу температуры и относительной влажности. Может быть достигнута общая погрешность измерения лучше чем 1,35% от измеренного значения относительной влажности, со встроенным базовым гигрометром

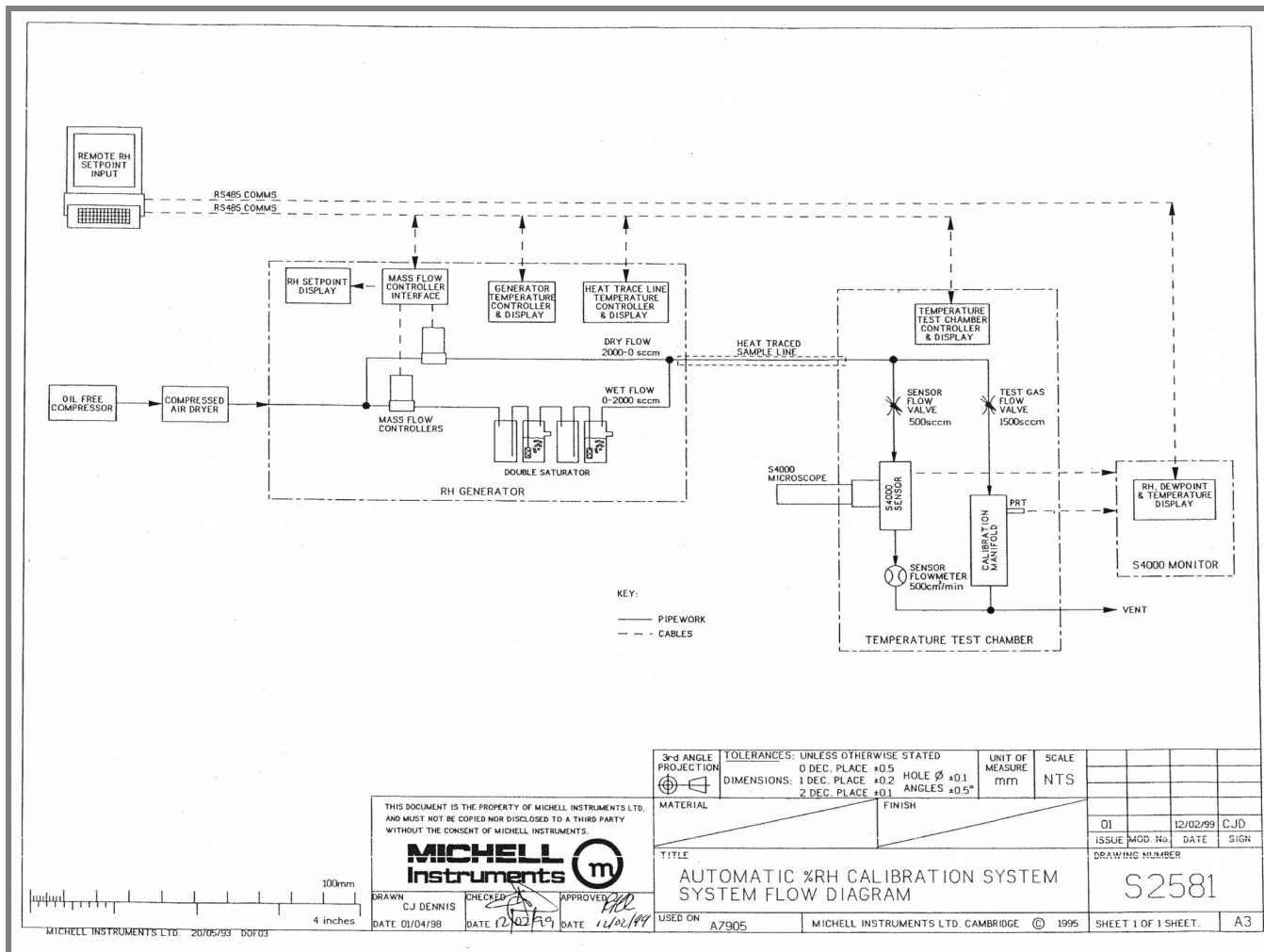
Автоматический Генератор Влажности



Это полностью автоматическая управляемая компьютером система калибровки для различных типов датчиков влажности в диапазоне $-40...+40$ °C и 1... 98 % ОВ.

Эта система обеспечивает профилирование обоих параметров, а так же обеспечивает возможность регистрации данных.

Блок Схема Генератора Влажности



Насыщенные растворы соли

До сих пор существует общая практика калибровки датчиков относительной влажности используя насыщенные растворы соли.

По ограниченному температурному диапазону, пересыщенный раствор чистой неорганической соли с дистиллированной водой вызовет фиксированную относительную влажность в закрытом воздушном пространстве в близком контакте с поверхностью жидкости. Различные растворы вызовут широкий диапазон влажностей как показано в следующей таблице.



Относительная Влажность По Солевым Растворам

Насыщенный солевой раствор	Температура °C		
	10	20	30
	Относительная влажность (%)		
Нитрат калия	96	95	92
Хлорид натрия	76	75	75
Дигидрат дихромата натрия	57	55	53
Карбонат калия	43	43	43
Хлорид магния	33	33	32
Хлорид лития	11	11	11

www.michell-instruments.com

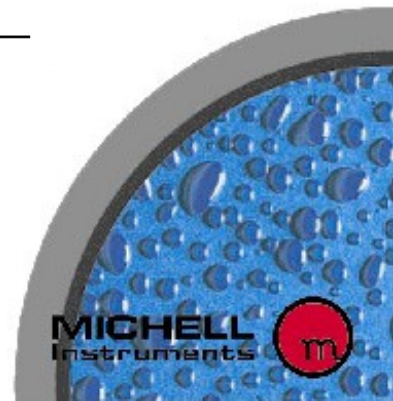


Ограничения

Все измерительные методы влажности имеют определённые преимущества и так же определённые ограничения. Возможности трёх основных методов, обсуждённых ранее

рассмотрены ниже:

Метод	Преимущества	Ограничения
Датчики точки росы (импедансная технология)	Низкая стоимость Простота использования	Ежегодная калибровка
Ёмкостной датчик относительной влажности	Низкая стоимость Высокое быстродействие в диапазоне 0В	Ежегодная калибровка
Датчики на охлажденном зеркале	Высокая точность Хорошая стабильность	Высокая стоимость Необходимо техническое обслуживание



Типичные технические характеристики различных измерительных технологий

Тип	Диапазон	Ожидаемая точность при использовании
Датчики точки росы(импедансная технология)	-100 до +20 °С точки росы	2 до 5 °С точки росы
Емкостные датчики относительной влажности	5 до 95 % ОВ -30 до +180 °С	2 до 3 % отн.влажности
Датчики на охлажденном зеркале	-100 до +90 °С точки росы	0.2 до 1 °С точки росы

Ограничения методики калибровки определяются сочетанием факторов, включая:

- Физические возможности используемые лабораторией
 - температурный контроль
 - качество воздуха
 - стабильность электроснабжения
- Класс персонала
 - обучение
 - внимание к деталям
 - воспроизводимость
 - изменения в штате

- Оборудование для калибровки
 - Точность
 - Воспроизводимость
 - Единство измерения

В любой лаборатории эти факторы могут быть определены статистически и объединены, чтобы оценить способности этой лаборатории как "недостовверный уровень".

Поэтому для правильной работы, профессиональная лаборатория с возможностью прослеживаемой перекалибровки согласно признанному стандарту, её возможности и ограничения количественно определены и представлены как положение лаборатории.



Протокол калибровки

Качество процесса калибровки датчиков влажности может в значительной степени находиться под влиянием протокола этого процесса.

В целом, датчики влажности должны быть откалиброваны от сухого до влажного – это позволяет датчику и объединённой системе отбора проб быть полностью сухим перед началом калибровки.

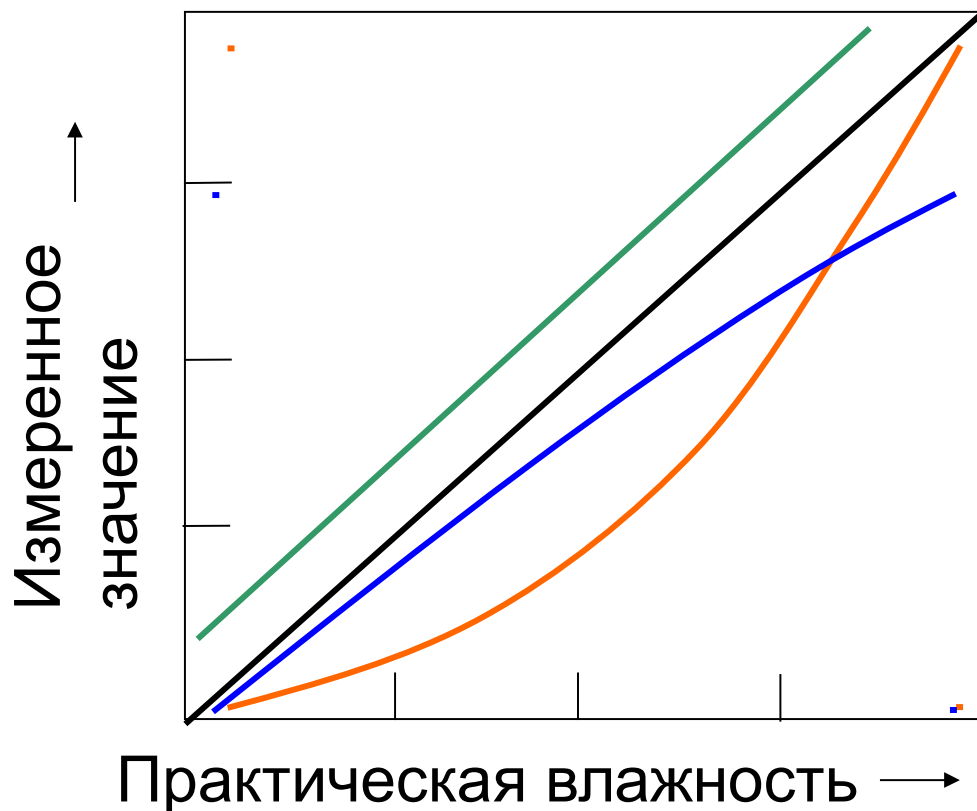
Т.к система отбора проб и датчик в общем влаголюбивы, важно позволить достаточно “высохнуть”, чтобы исключить любую адсорбированную влагу перед началом калибровки.

Протокол калибровки

Типичный протокол калибровки датчика влажности должен содержать:

Пункт	Допустимое время для стабилизации	Примечание
Входной контроль при высокой влажности	30 мин. минимум	Для перекрёстной ссылки перед конечным показанием
Осушка	От 24 до 72 часов	Зависит от наименьшей влажности
Первая контрольная точка	От 4 до 8 часов	
Увеличение шагов влажности	Уменьшение времени стабилизации до 30 мин. при влажности окружающей среды	Повторить испытание при действии высокой влажности как исходную точку контроля для системы

Типичная градуировочная кривая датчика влажности



Типичные результаты калибровки для датчиков влажности:

- Теоретический отклик
- Смещение нуля
- Уменьшенный интервал
- Ошибка линеаризации

Сравнительная таблица ПОТОЧНЫХ ГИГРОМЕТРОВ

Наименование	Easidew	Cermet II	Optidew Vision	S4000 range *
<i>Применение</i>	Общее применение	Чистые газы	Критическое применение	Критическое применение
<i>Технология</i>	Импеданс	Импеданс	Охлаждаемое зеркало	Охлаждаемое зеркало
<i>Общий диапазон °C</i>	-100 до +20	-100 до +20	-50 до +90 , до +130 (высокотемпературный датчик)	-100 до +90
<i>Оптимальный диапазон °C</i>	-60 до +20	-90 до +20	-40 до +90	-80 до +80
<i>Единицы измерения</i>	°C, °F	°C, °F, ppm, gm ³ , lbmmscf	°C, °F, % RH, aw temp °, °C, °F, gks ^l	
<i>Точность °C</i>	+/- 2	+/- 1	+/- 0.2	+/- 0.2
<i>Питание</i>	115 или 230В переключаемый	85 – 265В перем. 90 – 370В пост.	85 – 265В перем.	90 – 265В перем.
<i>Выходы</i>	4-20mA	4-20mA, RS232	0-20mA, 4-20mA, RS232	mV, mA, RS232
<i>Сигнализация</i>	Один сигнал	До 4 сигналов	Один сигнал	Нет

Сравнительная таблица портативных гигрометров

Наименование	Easidew	Cermax	Cermax IS	S4000 Integrale
<i>Применение</i>	Общее применение	Чистые газы	Опасная зона	Критическое применение
<i>Технология</i>	Импеданс	Импеданс	Импеданс	Охлаждаемое зеркало
<i>Общий диапазон °C</i>	-100 до +20	-120 до +30	-120 до +30	-60 до +40
<i>Оптимальный диапазон °C</i>	-60 до +20	-90 до +20	-90 до +20	-55 до +20
<i>Точность °C</i>	+/- 2	+/- 1	+/- 1	+/- 0.2
<i>Питание</i>	Перезаряжаемые батареи	Перезаряжаемые батареи	Перезаряжаемые батареи	Мощность потребляемая от сети 90 - 240V ac
<i>Выходы</i>	4-20mA	RS232	RS232 (в безопасной зоне)	mV, mA, RS232
<i>Масса</i>	4kg	3kg	3kg	9.8kg

Сравнительная таблица датчиков влажности

Наименование	Pura	Easidew	Easidew TX I.S.	Transmet IS	Optidew
<i>Применение</i>	Чистые газы, пр-во полупроводников	Общее применение	Опасная зона	Опасная зона (улучшенные рабочие характеристики)	Критическое применение
<i>Технология</i>	Импеданс	Импеданс	Импеданс	Импеданс	Охлаждаемое зеркало
<i>Общий диапазон °C</i>	-120 до -40	-100 до +20	-100 до +20	-100 до +20	-60 до +90
<i>Оптимальный диапазон °C</i>	-100 до -40	-60 до +20	-60 до +20	-90 до +20	-50 до +80
<i>Точность °C</i>	+/- 1	+/- 2	+/- 2	+/- 1	+/- 0.2
<i>Питание</i>	12 – 28В пост.	12 -28В пост.	12 – 28В пост.	11 – 28В пост.	85 – 265В перем.
<i>Выходы</i>	4-20mA, опция RS485	4-20mA	4-20mA	4-20 mA	4-2mA, RS232, сигнализация
<i>Мак давление</i>	24 МПа	40 МПа	40 МПа	30 МПа	25 МПа

Время для вопросов и ОТВЕТОВ

**ООО "Украинская промышленно-
торговая компания"**

Факс: +38 (057) 752-40-72

Телефон: +38 (057) 719-12-62

info@uic_company.com.ua

www.uic_company.com.ua