

Прецизионные термогигрометры «ТКА-ТВ/Эталон» для обеспечения единства измерений



В статье рассмотрены новые термогигрометры компании ООО «НТП «ТКА», которые могут служить в качестве эталонного средства измерения метрологическими службами предприятий и ЦСМ при поверке и калибровке средств измерения относительной влажности газов.

ООО «НТП «ТКА», г. Санкт-Петербург

В основу измерений величин влажности газов положены размеры единиц, воспроизводимые государственным первичным эталоном, в состав которого входят в том числе прецизионные гигрометры для контроля работы эталонных генераторов влажного газа.

В предыдущих статьях нами были рассмотрены вопросы метрологического обеспечения измерений относительной влажности воздуха в условиях серийного производства термогигрометров, приведены характеристики разработанных эталонных генераторов и калибраторов влажности [1, 2].

Эталоны влажности требуют регулярной метрологической поддержки в процедуре периодических поверок. Государственная поверочная схема (рис. 1), [3], предусматривает возможность поддержания единства измерений с помощью компаратора и высокоточных рабочих гигрометров, вклю-

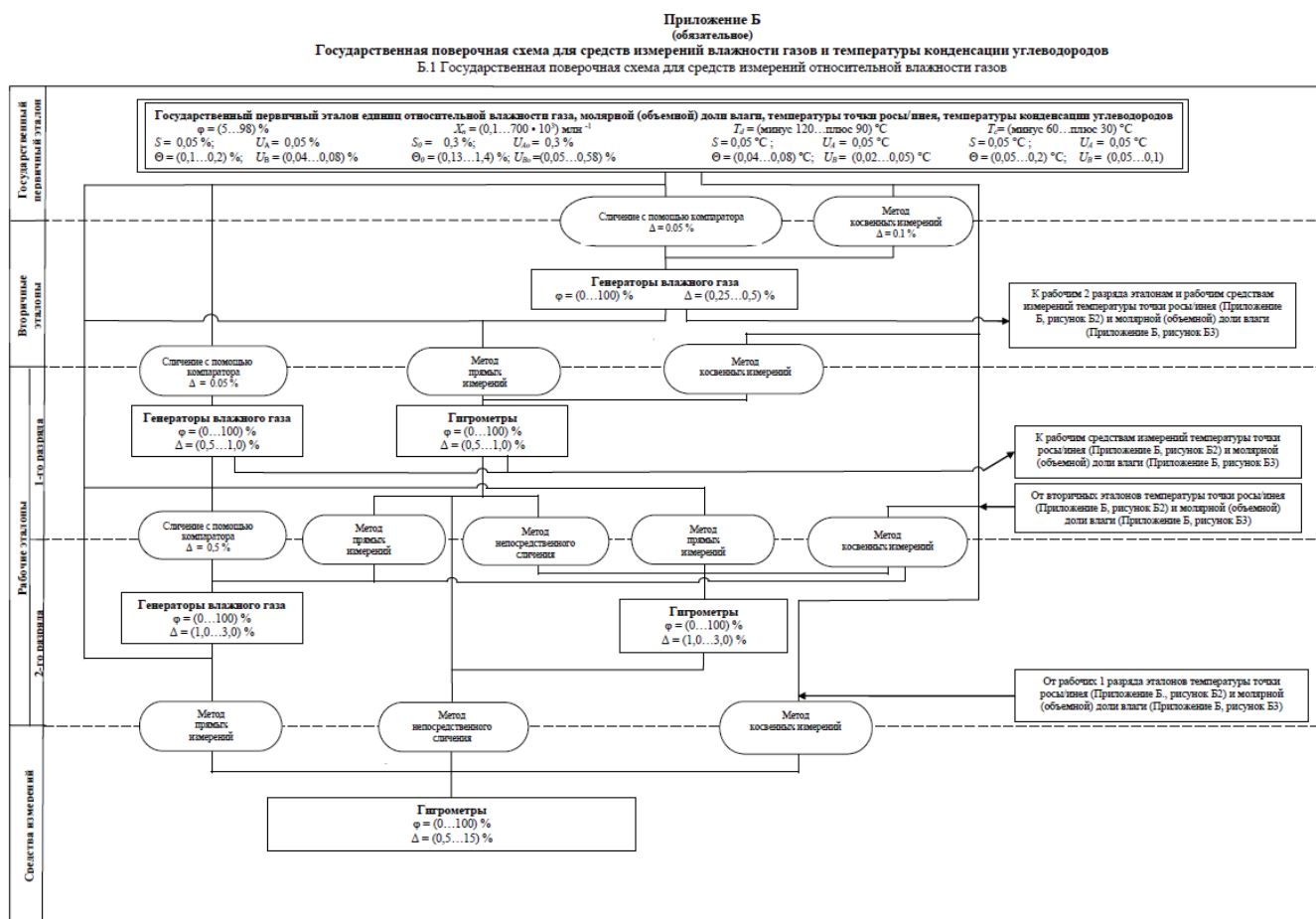


Рис. 1. ГПС для СИ измерений влажности газов



Рис. 2. Экспериментальный образец эталонного термогигрометра «ТКА»

чая методы и средства дистанционной метрологии [4].

В состав эталонных генераторов серии «ТКА-ГВЛ» (выпускаемых более 15 лет) входит гигрометр фирмы «Ротроник» модификации НР с заявленной погрешностью 1 %. Для повышения точности градуировки генераторов влажного газа наше предприятие разработало отечественные эталонные термогигрометры «ТКА-ТВ/Эталон» двух типов, с погрешностью измерения 0,5 и 1 % отн. вл.

Метрологические характеристики приборов такого класса проверяются и при необходимости градуируются по гигрометру-компаратору, входящему в состав Государственного первичного эталона влажности ГЭТ 151-2014:

- ▶ диапазон относительной влажности от 5 до 98 %;
- ▶ СКО не более 0,05 %;
- ▶ неисключенная систематическая погрешность НСП не более 0,2 % [3, 5].

При решении этой задачи на первом этапе нами был изготовлен экспериментальный образец эталонного термогигрометра [1], отвечающий указанным требованиям, его внешний вид приведен на рис. 2.

Алгоритм обработки сигналов дополнен вычислением корректирующих поправок, а также вычислением/отображением температур точки росы и влажного термометра.

В дальнейшем, когда были уточнены метрологические, эксплуатационные, сервисные и технологические

характеристики на базе экспериментального образца, было доработано программное обеспечение. В том числе было разработано внешнее ПО для калибровки гигрометра на эталонах более высокого разряда (например, первичный или вторичный государственный эталон). Выявилась необходимость в обеспечении максимальной автономности прибора с использованием интуитивного интерфейса и активного управления жидкокристаллическим сенсорным дисплеем. На рис. 3 представлен термогигрометр эталонный «ТКА-ТВ/Эталон» (модификаций «ТКА-ТВ/Эталон-0,5» и «ТКА-ТВ/Эталон-1»), предназначенный для измерения относительной влажности и температуры воздуха.

Возможная область применения: в качестве эталонного средства измерения метрологическими службами предприятий и ЦСМ при поверке и калибровке средств измерения относительной влажности газов. Метрологические и технические характеристики перечислены в табл. 1.

Сенсорный дисплей термогигрометра позволяет наблюдать и управлять данными:

- ▶ ввод температурной поправки;
- ▶ отображение текущих значений в текстовом/графическом режимах;
- ▶ энергосбережение дисплея (время переключения экрана в режим малой яркости);
- ▶ установка календаря;

▶ выбор беспроводного интерфейса;

▶ запись результатов на карту microSD.

Термогигрометры выпускаются в компактном портативном исполнении. Конструктивно термогигрометр состоит из двух функциональных блоков: измерительного зонда (ИЗ) и блока обработки информации (БОИ), соединенных кабелем.

После включения на дисплее отобразится начальная заставка с логотипом предприятия-изготовителя, информацией о названии и версии программного обеспечения (рис. 3). Далее термогигрометр автоматически переходит к первому (основному) экрану отображения измеряемых зна-



Рис. 3. Термогигрометр эталонный «ТКА-ТВ/Эталон»

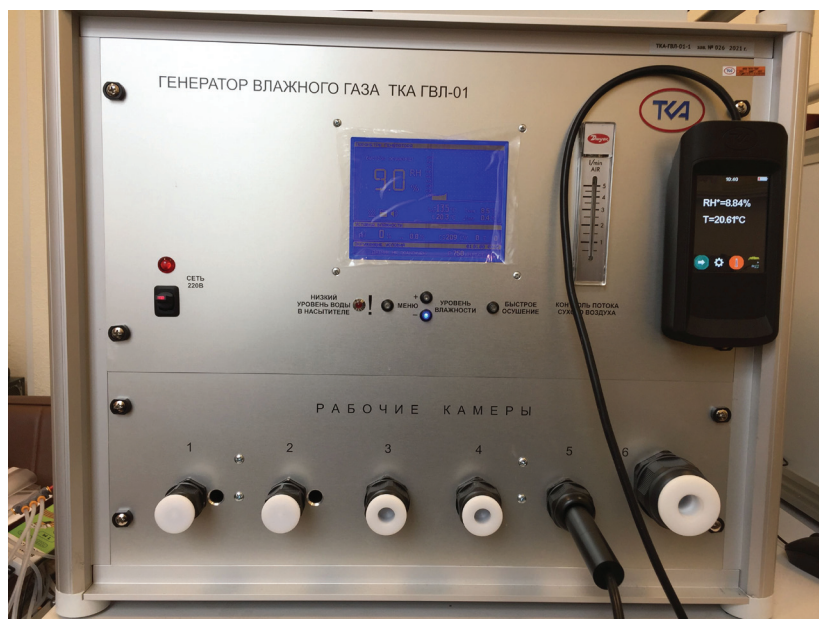


Рис. 4. Термогигрометр эталонный «ТКА-ТВ/Эталон» в составе генератора влажности «ТКА-ГВЛ-01»

Таблица 1. Метрологические и технические характеристики термогигрометра эталонного «ТКА-ТВ/Эталон»

Характеристика	Значение
Диапазоны измерений: • относительной влажности, % • температуры воздуха, °C	5...95 18...28
Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений относительной влажности для модификации «ТКА-ТВ/Эталон-0,5» при температуре воздуха в зоне измерений (23 ± 1) °C, %	$\pm 0,5$
Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений относительной влажности для модификации ТКА-ТВ/Эталон-1 при температуре воздуха в зоне измерений (23 ± 5) °C, %	$\pm 1,0$
Дискретность показаний относительной влажности, %	0,01
Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений температуры воздуха для модификаций «ТКА-ТВ/Эталон-0,5» и «ТКА-ТВ/Эталон-1» при температуре воздуха в зоне измерений (18...28) °C, °C	$\pm 0,3$
Дискретность показаний температуры, °C	0,01
Диапазоны показаний расчетных параметров: • температура точки росы, °C • температура влажного термометра, °C	-55...+60 -10...+60
Пересчет измеренной влажности для температуры, отличающейся от измеренной на величину вводимой температурной поправки ΔT : • диапазон ввода поправки, °C • шаг ввода поправки, °C	± 5 0,01
Размер внутренней памяти, измерений, не менее	524 000
Интервалы записи в память	10 с, 30 с, 60 с, 5 мин, 15 мин, 30 мин, 1 ч, 5 ч, 10 ч, 24 ч
Интервалы записи на microSD	10 с, 30 с, 60 с, 5 мин, 15 мин, 30 мин, 1 ч, 5 ч, 10 ч, 24 ч
Объем поддерживаемой карты памяти, Гб, не более	32
Источник питания (встроенный несъемный аккумулятор), В	3,7
Срок службы, лет, не менее	7
Масса прибора, кг, не более	0,50
Габаритные размеры термогигрометра, мм, не более: • блок обработки информации • измерительный зонд	163 × 79 × 40 Ø20 × 164
Тип дисплея	Сенсорный
Внешние подключения	USB 2.0, Wi-Fi, Bluetooth 2.0, слот для карты microSD

чений относительной влажности RH^* и температуры T (рис. 5).

Для входа в режим настройки необходимо нажать на кнопку «Настройки». Вид экрана пользовательских настроек представлен на рис. 6.

Режим «Ввод поправки ΔT » (рис. 7) обеспечивает введение поправки к измеренному значению температуры T для проведения расчета значения влажности при температуре $(T + \Delta T)$. При выключении термогигрометра значение введенной поправки ΔT обнуляется.

Переход на второй экран отображения измеряемых и вычисляемых параметров производится с помощью кратковременного нажатия на кнопку «Следующий экран» со стрелкой. На рис. 8 представлен второй экран, на котором отображаются:

► относительная влажность RH и температура T , измеренные зондом термогигрометра;

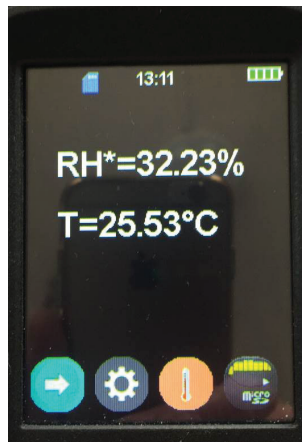


Рис. 5. Первый экран отображения измеряемых параметров

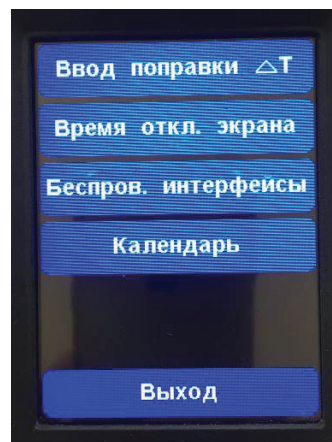


Рис. 6. Экран пользовательских настроек

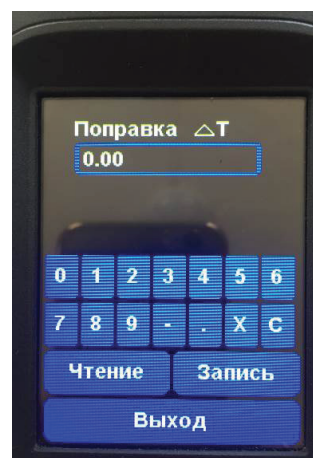


Рис. 7. Экран при вводе температурной поправки ΔT



Рис. 8. Второй экран отображения измеряемых и вычисляемых параметров: $\Delta T = 0$

► введенная оператором температурная поправка ΔT ;
► результирующее значение относительной влажности RH^* ;
► результирующее значение температуры T^* ;



Рис. 9. Второй экран отображения измеряемых и вычисляемых параметров, $\Delta T = 1,24\text{ }^{\circ}\text{C}$

► возникшее отклонение ΔRH при переходе от температуры T к температуре T^* .

Отметим, что на рис. 8 приведен пример результатов измерения без введения температурной поправки ΔT . На рис. 9 приведен пример результатов измерения с введением температурной поправки ΔT .

Так, согласно рис. 9, отклонение температуры на $+1,24\text{ }^{\circ}\text{C}$ приводит к понижению исходной влажности $RH = 30,91\%$ на $2,17\%$, до значения $RH^* = 28,74\%$.

Пересчет значения относительной влажности при переходе от одной температуры ($t_1\text{ }^{\circ}\text{C}$) к другой ($t_2\text{ }^{\circ}\text{C}$) проводится по формуле Магнуса:

$$RH_2 = RH_1 \times [\exp(\beta \times t_1) / (\lambda + t_1)] \div [\exp(\beta \times t_2) / (\lambda + t_2)],$$

где $\beta = 17,62$; $\lambda = 243,12$ (константы для воды).

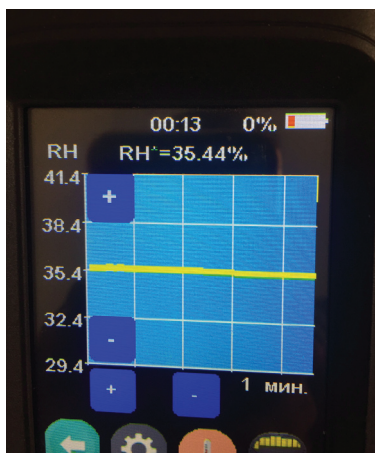


Рис. 10. Графический режим отображения измеряемой влажности

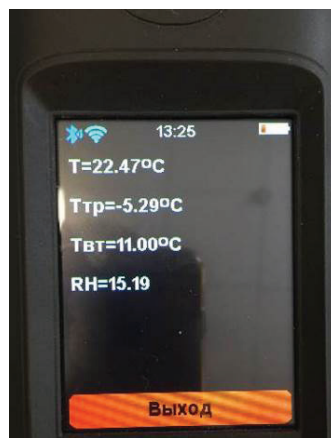


Рис. 11. Третий экран отображения измеряемых и вычисляемых параметров

В приведенном нами примере $t_1 = T$; $t_2 = T^*$.

Переход на графический экран дисплея, отображающий изменения во времени измеряемой влажности RH (рис. 10), обеспечивается путем нажатия на кнопку со стрелкой вправо при первом или втором режиме работы термогигрометра. Возможны настройки шкалы времени (ось X) и шкалы по влажности (ось Y) с помощью соответствующих кнопок «+» и «-», причем отображаемая влажность автоматически поддерживается на середине шкалы Y. Выход из графического режима обеспечивается нажатием на кнопку со стрелкой влево, при этом термогигрометр возвращается к первому экрану отображения измеряемых значений.



Рис. 12. Кнопка включения, кабель для связи с зарядным устройством (или с ПК)

Переход на третий экран отображения измеряемых и вычисляемых параметров производится кратковременным нажатием на кнопку с термометром. На дисплее отображаются параметры (рис. 11): измеренная температура T , расчетное значение температуры точки росы $T_{пр}$, расчетное значение температуры влажного термометра $T_{вт}$, измеренная влажность RH .

Включение и отключение термогигрометра производится с помощью однократного нажатия кнопки «Включение/выключение», расположенной на торцевой части термогигрометра (рис. 12).

Питание термогигрометра осуществляется от встроенной аккумуляторной батареи напряжением $3,7\text{ В}$. Уровень заряда аккумулятора отображается в виде символа в верхней левой части дисплея термогигрометра (рис. 9). В комплект поставки термогигрометра входит соответствующее зарядное устройство. Термогигрометр рассчитан на многочасовую работу от встроенного аккумулятора либо совместно с зарядным устройством.

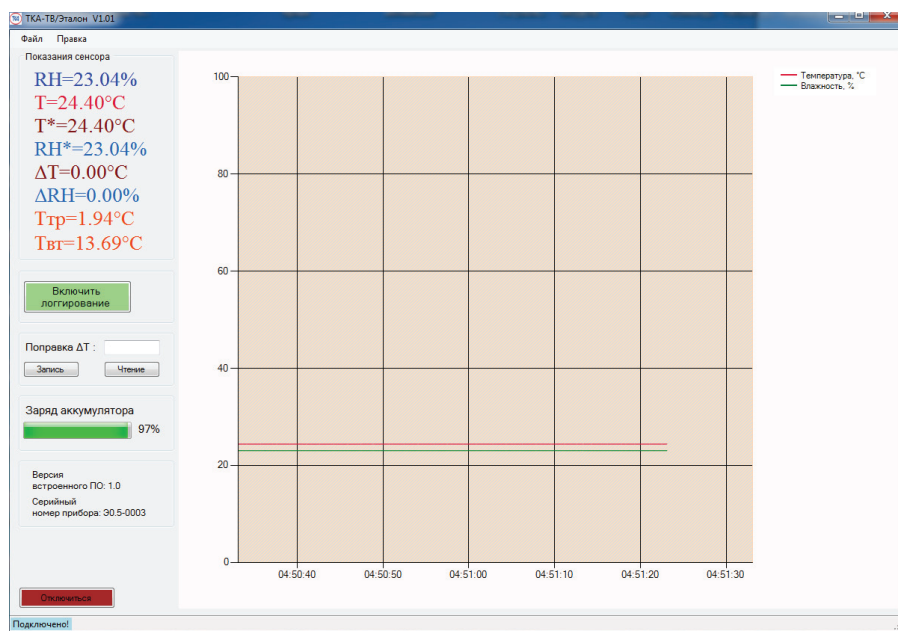


Рис. 13. Заставка программы «TKA-TB/Эталон»

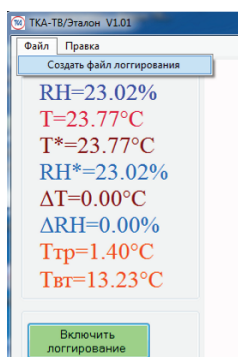


Рис. 14. Сохранение результатов измерений

Температура эксплуатации термогигрометра – от 18 до 28 °С при относительной влажности воздуха не более 80 % (при $t = 25\text{ °C}$). Допускается работа термогигрометра при температурах не ниже +10 °С в течение не более 30 минут для сохранения работоспособности аккумулятора и дисплея.

Во избежание образования конденсата на измерительном зонде и дисплее при перемещении термогигрометра из холода в тепло рекомендуется выдержать его в закрытом кейсе для переноса не менее одного часа.

При подключении термогигрометра к ПК используется ПО «ТКА-ТВ/Эталон», заставка из которой приведена на рис. 13.

При нажатии курсором на кнопку «Подключиться» на мониторе ПК появится сообщение «Подключено» и будут отображаться в текстовом и графическом виде величины измеренных значений влажности и температуры, расчетные параметры и состояние аккумулятора (рис. 13). Для сохранения результатов измерений необходимо нажать кнопку «Файл», создать файл для сохранения, затем

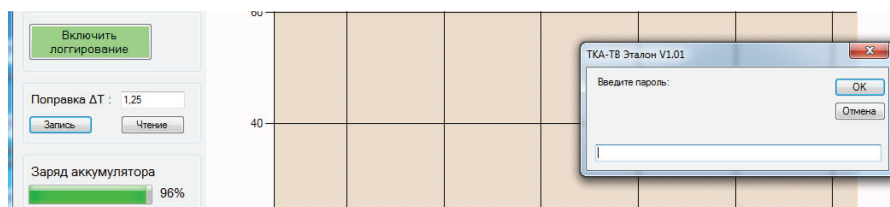


Рис. 15. Ввод температурной поправки: запрос пароля

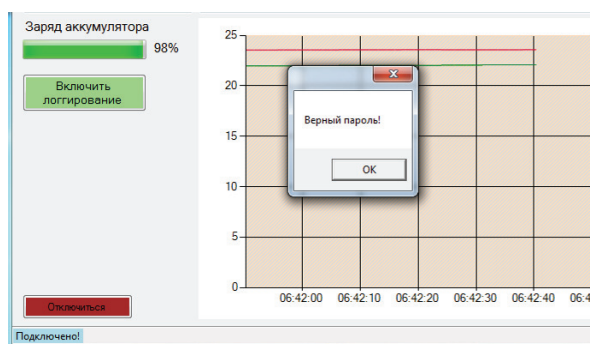


Рис. 16. Подтверждение правильности введенного пароля

нажать кнопку «Включить логгирование» (рис. 14).

На рис. 15, 16 представлены окна программы при вводе температурной поправки, с запросом пароля.

Информация о настройке метрологических параметров термогигрометра защищена паролями от случайного пользователя (контроль прав доступа), запись новых параметров (калибровка) возможна только при использовании специальной программы. Доступ к ней возможен при использовании специальных средств, предоставленных производителем.

На рис. 17 в качестве примера показаны результаты определения коэффициентов усиления, смещения и СКО по каналу измерения влажности такой специальной программой по итогам введения протокола измерений, содержащего 11 точек калибровки. На рис. 18 представлены результаты уточнения коэффициентов усиления, смещения и СКО по каналу измерения влажности этой программой за счет использования двух поправочных функций: П1 и П2. Оценка погрешностей по измерению влажности после настройки прибора и фи-

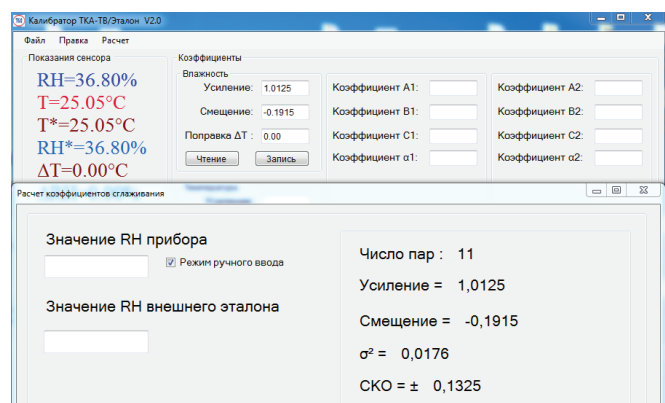


Рис. 17. Определение коэффициентов по влажности специальной программой калибровки

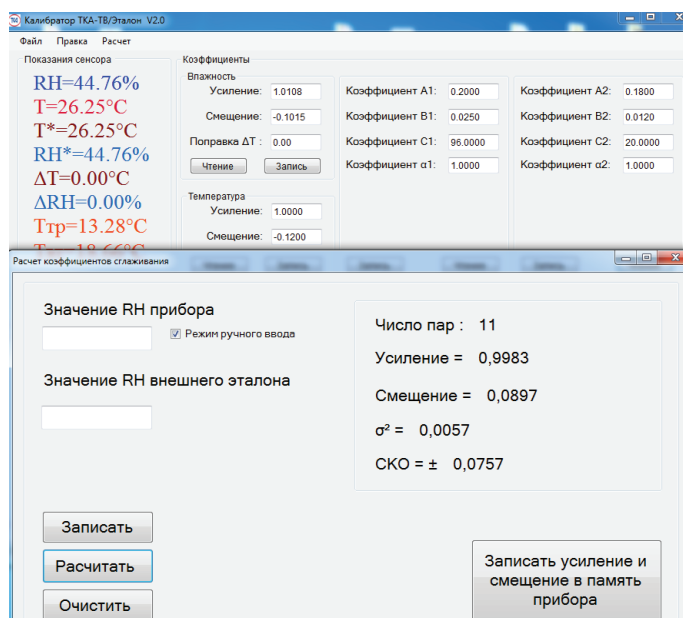


Рис. 18. Уточнение параметров настройки по измерению влажности путем введения поправок П1 и П2

Таблица 2. Оценка погрешностей по измерению влажности после настройки прибора. Финальное значение СКО

№№	Показания прибора после корректировки, RH _{прибора} %	Показания эталона, RH _{эталона} %	Погрешность измерения после корректировки, %	Введение поправок, П1 (+) П2 (-)	Показания прибора после введения поправок, П1 (+) П2 (-)	Остаточная погрешность, %
1	1,06	1,23	-0,17	0	1,06	-0,17
2	5,15	5,22	-0,07	-0,003	5,15	-0,07
3	20,28	20,10	+0,18	-0,18	20,10	0
4	25,45	25,31	+0,14	-0,12	25,33	+0,02
5	35,55	35,57	-0,02	0	35,55	-0,02
6	50,52	50,63	-0,11	0	50,52	-0,11
7	65,76	65,76	0	0	65,76	0
8	75,49	75,35	+0,14	0	75,49	+0,14
9	85,45	85,27	+0,18	0	85,45	+0,18
10	90,95	91,03	-0,08	+0,07	91,02	-0,01
11	95,99	96,19	-0,20	+0,20	96,19	0
П1(+) = 0,20 – 0,025 × I RH – 96 I ¹ ; область действия (96 ± 8) % (B1 = 0,20 : 8 = 0,025)						
П2 (-) = -0,18 + 0,012 × I RH – 20 I ¹ ; область действия (20 ± 15) % (B2 = 0,18 : 15 = 0,012)						
A = -0,1915 B = 1,0125, σ ² = 0,0176, СКО = ±0,1325 % – после сглаживания						
A = +0,090 B = 0,9983, σ ² = 0,0057, σ = ±0,0755 – после ввода П1 и П2						
Установить: A = -0,1915 + 0,090 = -0,1015, B = 1,0125 × 0,9983 = 1,0108						
ИТОГ: ЗАПИСАТЬ в прибор: Асм = -0,1015; Вус = 1,0108 (при этом СКО = ±0,076 %)						

нальное значение СКО = ±0,076 % показаны в табл. 2.

Полученные предварительные результаты по оценке качества измерений термогигрометрами «ТКА-ТВ/Эталон» показывают, что в диапазоне влажности от 1 до 98 % остаточные (неисключенные) погрешности лежат в коридоре значений ±(0,2...0,3) % отн. вл., СКО – в пределах ±0,08 % отн. вл., что сопоставимо с метрологическим качеством рабочего эталона 1-го разряда.

Необходимым условием стабильности поддержания единства измерений в РФ является создание отечественных эталонов, не уступающих по своим характеристикам лучшим зарубежным аналогам. Создание такой аппаратуры, по нашему мнению, возможно исключительно при тесном взаимодействии производителей оборудования и служб системы Госстандарта. Наш вклад, с учетом задач по импор-

тозамещению, заключается в создании нового эталонного оборудования по относительной влажности.

Литература

1. Барбар Ю.А., Томский К.А., Щур Д.Е., Рысков М.А. Метрологическое обеспечение измерений относительной влажности воздуха в условиях серийного производства термогигрометров // ИСУП. 2020. № 5.
2. Барбар Ю.А., Томский К.А., Щур Д.Е., Рысков М.А. Калибратор влажности «ТКА-КВП-04» как метрологическое средство измерений при серийном производстве термогигрометров // ИСУП. 2021, № 3.
3. ГСИ. Государственная поверочная схема для средств измерений влажности газов и температуры конденсации углеводородов. Утверждена Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 15 декабря 2021 г. № 2885.
4. Сольский М.Б. Перспективы дистанционной поверки средств измерений

влажности газов / Доклад ВНИИФТРИ на Всероссийском съезде метрологов и приборостроителей. М., 2019.

5. Анашко А.А., Винге А.Ф., Винге М.А., Морозов С.А. Метрологические возможности Государственного первичного эталона единиц относительной влажности газов, молярной (объемной) доли влаги, температуры точки росы/иней ГЭТ 151-2014 // Измерительная техника. 2017. № 2.

Ю.А. Барбар, к. т. н.,
технический директор,
К.А. Томский, д. т. н.,
генеральный директор,
Д.Е. Щур, зам. технического директора,
М.А. Рысков, главный конструктор,
А.А. Гутник, инженер
по программированию,
ООО «НТП «ТКА», г. Санкт-Петербург,
тел.: +7 (812) 331-1981,
e-mail: info@tkaspb.ru,
сайт: www.tkaspb.ru