

**МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЙ
ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ВЛАЖНОСТИ ВОЗДУХА
ТЕРМОГИГРОМЕТРОВ**

Для обеспечения поверки приборов, используемых для контроля относительной влажности, в том числе при длительном хранении, разработаны высокопроизводительные эталоны - генераторы влажного газа серий «ТКА-ГВЛ» и «ТКА-КВЛ». В статье описаны их конструктивные особенности, функциональные возможности, приведены характеристики. Рассмотрены также вопросы повышения инструментального качества проектируемых прецизионных гигрометров, имеющих погрешность измерения не выше 1% относительной влажности.

Ключевые слова: измерения, приборы, температура, влажность, давление, метрология, измерения, точность.

*V.V. Loose, S.L. Beletsky, Yu.A. Barbar, K.A. Tomsky,
D.E. Shchur, M.A. Ryskov*

**METROLOGICAL PROVISION OF MEASURING
THE RELATIVE AIR HUMIDITY
OF THERMOHYGROMETERS**

To ensure the verification of instruments used to control relative humidity, including during long-term storage, high-performance standards have been developed - wet gas generators

of the TKA-GVL and TKA-KVL series. The article describes their design features, functionality, and provides characteristics. The issues of improving the instrumental quality of the designed precision hygrometers, which have a measurement error of no more than 1% relative humidity, are also considered.

Key words: measurements, instruments, temperature, humidity, pressure, metrology, measurements, accuracy.

На территории РФ в обращении находятся миллионы средств измерений, среди которых приборы для измерения физических факторов, включая температуру и влажность, составляют значительную долю. Данные приборы нуждаются в проведении очередных поверок, калибровок и сервисном обслуживании особенно по параметру влажности. По мере увеличения темпов выпуска термогигрометров, повсеместного их использования и увеличении сроков длительного хранения, обнаружилась необходимость разработки высокопроизводительных эталонов предназначенных для калибровки и поверки термогигрометров, в результате чего был создан и сертифицирован в качестве эталона генератор влажного газа «ТКА-ГВЛ», работающий на принципе смешения двух потоков газа (воздуха), сухого и влажного, с ручным заданием уровня влажности двумя ротаметрами, рисунок 1 и с электронным управлением уровня влажности рисунок 2.



Рисунок 1. Генератор влажного газа ТКА-ГВЛ



Рисунок 2. Генератор влажного газа ТКА-ГВЛ-01-1, ТКА-ГВЛ-01-2

Рабочий цикл генераторов составляет около двух часов. В комплектность генератора 1-го разряда входит образцовый термогигрометр, в настоящее время это Rotronic модификации HygroPalm. Генератор снабжен шестью рабочими портами, не требует подключения к внешним газовым магистралям, питание 220 В 50 Гц, он имеет двухстороннюю связь с ПК. Воспроизведение требуемого уровня влажности обеспечивается с помощью программно управляемых встроенных компрессоров. Генератор содержит встроенный контрольный термогигрометр, обеспечивающий функционирование по заданной программе, а также дополнительный внешний термогигрометр, подключаемый к генератору и обеспечивающий контроль окружающих условий по температуре, влажности и атмосферному давлению.

Эти генераторы имеют спрос у метрологических служб России.

В качестве опции к генератору можно подключать камеру ТКА-КВЛ, рисунок 4. Камера имеет 6 рабочих портов, диаметры которых могут выбираться при заказе.

Для обеспечения исследований термогигрометров разработана камера влажности «ТКА-КВЛ-03» рисунок 5, которая имеет полезный объем 8,3 литра, содержит встроенный контрольный термогигрометр.



Рисунок 3. Камера влажности ТКА-КВЛ с 6 рабочими портами



Рисунок 4. Камера влажности ТКА-КВЛ-03, рабочий объем 8,3 литра

В настоящее время по результатам государственных испытаний завершается оформление сертификата новой модели генератора: «ТКА-ГВЛ-03», в которой совмещены функции генератора «ТКА-ГВЛ-01». В генераторе предусмотрен контроль влажности осушителя (сорбента), с отображением её величины на дисплее генератора. При превышении некоторого критического значения, (например, 5 % отн. влажности, этот уровень задаётся в настройках генератора), включается сигнальная лампа на лицевой панели, информирующая о необходимости замены сорбента. Генератор укомплектован образцовым прибором Rotronic модификации HugroPalm, рисунок 6.

Для проведения выездных работ на местах расположения проверяемых приборов разработан портативный калибратор влажности «ТКА-КВЛ-04», рисунок 7. Калибратор содержит в своём составе генератор влажности, рабочую камеру на 8,3 литра, встроенный в камеру контрольный термогигрометр и дисплей. Выпускается в двух модификациях: ТКА-КВЛ-04-Р (управление уровня влажности двумя ротаметрами повышенного ресурса), и ТКА-КВЛ-04-Э (электронное управление).



Рисунок 5. Расположение измерительного зонда контрольного термогигрометра в рабочей камере генератора ТКА-ГВЛ-03



Рисунок 6. Калибратор влажности ТКА КВЛ-04

Отметим, что нелинейность передаточной характеристики (ПХ) вносит определённый вклад в бюджет погрешностей гигрометра. Минимизация погрешности, обусловленной нелинейностью ПХ, решается с использованием методов цифровой линеаризации выходного сигнала гигрометра. Первичное сглаживание (линеаризация) ПХ чувствительного элемента емкостного датчика влажности реализуется, как правило, с помощью полиномов, что имеет, на наш взгляд, как положительные, так и отрицательные стороны.

Сегодня широко используются интеллектуальные цифровые датчики влажности и температуры, в которых первоначальное сглаживание ПХ чувствительных элементов уже обеспечено производителем, внесено в алгоритм обработки сигнала, а выходной цифровой сигнал характеризуется коридором типовых погрешностей (включая нелинейность ПХ), приводимых в технической документации, например, в [10].

Проведённые исследования различных типов интеллектуальных датчиков подтверждают, что у них имеется некоторая остаточная нелинейность ПХ, в пределах от 1 до 3 % относительной влажности.

Так, для интеллектуальных датчиков влажности и температуры типов EEN210, SHT85 исходные погрешности по влажности δRH могут достигать значений до $\pm 3 \%RH$, что видно из графиков, приведённых на рисунок 10 и рисунок 11.

С учётом вышеизложенного были протестированы опытные образцы термогигрометров (рис. 12). Основные характеристики: диапазон измерения относительной влажности от 0 до 100%; цена младшего разряда 0,01%; диапазон измерения температуры от -50 до +80 °C с погрешностью $\pm 0,2$ °C, цена младшего разряда 0,01 °C.

Для проверки фактического метрологического качества измерения приборами влажности было проведено их исследование на комплексе гигрометрической аппаратуры, включающей генератор влажного газа первого разряда «ТКА-ГВЛ-01-1», образцовые термогигрометры Rotronic HP 22-A, HP 23-A, термогигрометр Rotronic HP 32 (с зондами HC2A-S), HC2A-SH), зонд

Rotronic Hygro Clip HC2A-S. На рисунке 13 приведены результаты этого исследования, содержащего 5 циклов измерений (1 цикл/день). Видно, что в диапазоне влажности от 0 до 98% остаточные (неисключенные) погрешности лежат в коридоре значений $-0,3\%/+0,4\%$ относительной влажности. Полученный результат сопоставим с метрологическим качеством рабочего эталона 1 разряда - генератора влажного газа 2000SP GEO [6], в котором используется зонд Rotronic Hygro Clip HC2A-S, а пределы допускаемой абсолютной погрешности воспроизводимой относительной влажности при температуре $23 \pm 0,30\text{C}$ составляют $\pm 0,5\%$.

Полученные предварительные результаты по качеству измерений соответствуют требованиям Поверочной схемы[1]. Основные технические решения в области создания гигрометров и генераторов влажности защищены авторским правом [5,7,8,9].

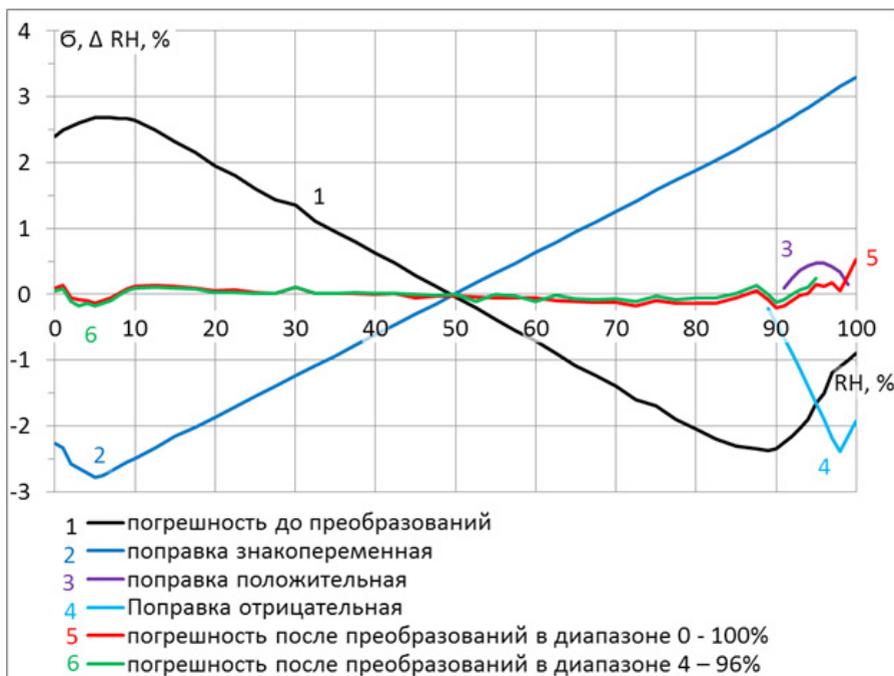


Рисунок 7. Датчик EEN 210

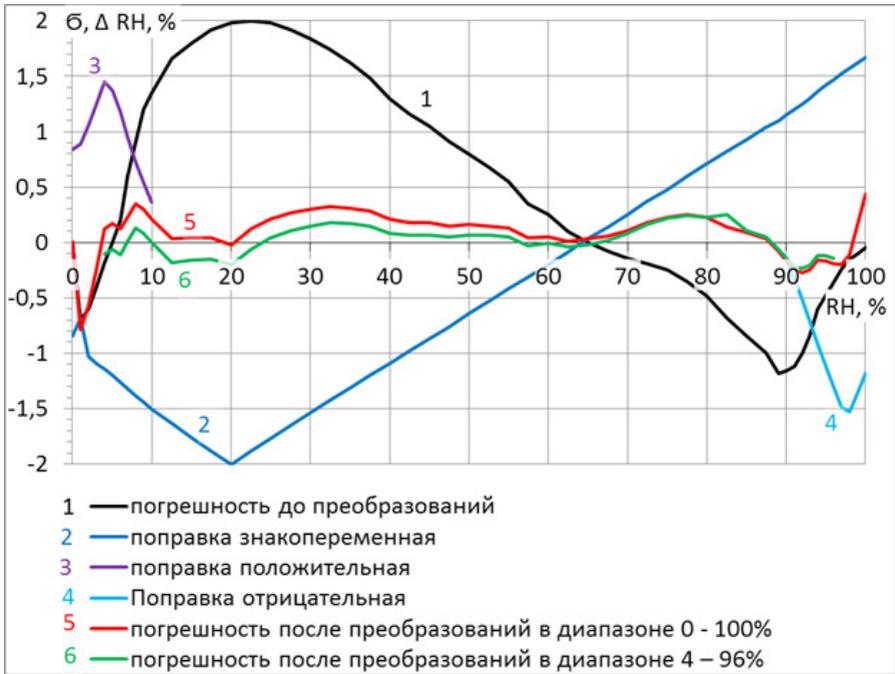


Рисунок 8. Датчик SHT85



Рисунок 9. Опытный образец прецизионного термогигрометра

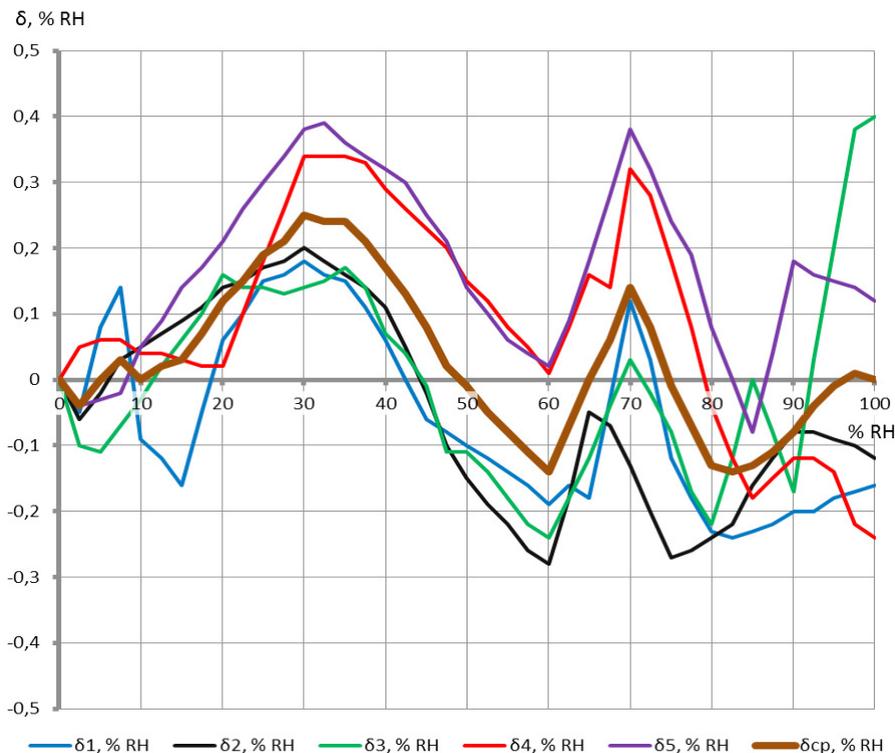


Рисунок 10. Исследование метрологического качества измерения влажности опытным образцом термогигрометра. Остаточные погрешности

Заключение

Современные тенденции метрологии направлены не только на повышение качества эталонного оборудования, но и на максимальное обеспечение условий и доступности проведения калибровок и поверок аттестованным метрологическим службам. Цифровая метрология должна быть легализована без снижения достоверности проведенных, в том числе, дистанционных испытаний.

Необходимым условием стабильности поддержания единства измерений в РФ является замещение импортной техники от-

еественной не уступающей по своим характеристикам лучшим зарубежным аналогам. Создание такой аппаратуры, по нашему мнению, возможно исключительно при тесном взаимодействии производителей оборудования и служб системы Госстандарта.

Список литературы

1. ГОСТ 8.547 – 2009 ГСИ. Государственная поверочная схема для средств измерений влажности газов.

2. Анашко А.А., Винге А.Ф., Винге М.А., Морозов С.А. Метрологические возможности Государственного первичного эталона единиц относительной влажности газов, молярной (объёмной) доли влаги, температуры точки росы /иня ГЭТ 151 -2014. Измерительная техника, 2017, № 2, стр. 3-6.

3. Сольский М.Б. Перспективы дистанционной поверки средств измерений влажности газов. Доклад ВНИИФТРИ на Всероссийском съезде метрологов и приборостроителей. Москва, 2019 г.

4. Наборы поверочные стационарные для средств измерений относительной влажности воздуха производства GEO Calibration Inc., США, ГРСИ РФ № 76316-19. Методика поверки УБЖК.413614.012 МП, 2019 г.

5. Y.A. Barbar, M.N, Golikov, K.A. Tomsky. Transfer characteristic linearization of relative humidity sensors. TEMPMEKO & ISHM 2010, Portoroz, Slovenia. Book of Abstracts Volume A, p. 101.

6. Генераторы влажного газа MODEL 2000SP производства GEO Calibration Inc., США, ГРСИ РФ № 76317-19. Методика поверки УБЖК.413614.010 МП, 2019 г.

7. Патент на полезную модель №134297 «Генератор влажного газа». Зарегистрирован в Госреестре изобретений РФ 10 ноября 2013 г.

8. Патент на изобретение №2540885. «Генератор влажного газа и способ генерации газа с требуемой влажностью». Зарегистрирован в Госреестре изобретений РФ 23 декабря 2014 г.

9. Патент на полезную модель №183258 «Генератор влажного газа». Зарегистрирован в Госреестре изобретений РФ 14 сентября 2018 г.

10. Digital humidity and temperature sensor EEEH210. Datasheet V1.0 April 2016. E+E ELECTRONIK GMBH.