

УДК 514:001.891

А. Г. Давидовская,
Е. В. Филистович

НАУЧНЫЕ ДОСТИЖЕНИЯ В ОБЛАСТИ ГИГРОМЕТРИИ

В статье представлены комплексы национального эталона единиц относительной влажности воздуха и температуры точки росы/инейя. Приведены метрологические характеристики эталона.

This article describes component installations of the National Measurement Standard for Relative Humidity and Dew/Frost Point Temperature. Metrological characteristics of the standard are reported.

В рамках подпрограммы «Эталон Беларуси» ГНТП «Эталон и научные приборы» на 2016–2020 годы завершен проект по созданию национального эталона единиц относительной влажности воздуха и температуры точки росы/инейя (НЭ 58-20), значимый для таких отраслей, как энергетика, агропромышленный комплекс, нефтехимия, био- и наноиндустрия, медицина и фармацевтика, метеорология, микроэлектроника.

Измерение и контроль влажности атмосферного воздуха, технологических и природных газов является важным параметром. Это обусловлено в первую очередь тем, что существует определенная зависимость между степенью гигроскопичности различных материалов, веществ или их компонентов, как органических, так и неорганических, и содержанием влаги. Изменение влажности может привести к изменению их физических и химических свойств, что в свою очередь оказывает существенное влияние на качество производимой и хранимой продукции и эффективность технологических процессов.

Несмотря на то, что относительная влажность, точка росы/инейя, массовая доля влаги, молярная доля влаги, объемная доля влаги, абсолютная влажность и др. являются величинами, определяющими влажность газов [1], они характеризуют различные природные проявления влажности. Иногда связь между ними может быть установлена только эмпирически.

В любом измерительном устройстве наивысшая точность может быть получена только для одной величины или группы однородных величин, соответствующих принципу действия этого устройства. Остальные же расчетные величины влажности будут отягощены погрешностями справочных данных и погрешностями влияющих величин, входящих в расчетные формулы. По этой причине нельзя создать одно эталонное устройство, воспроизводящее с одинаковой предельно высокой метрологической точностью единицы всех величин влажности газов.

Для обеспечения единства измерений в области гигрометрии в Республике Беларусь НЭ 58-20 воспроизводит относительную влажность газов в диапазоне от 5 до 95 % и температуру точки росы/инейя в диапазоне от –80 до +20 °С и состоит из двух комплексов:

1. Комплекс для воспроизведения, хранения и передачи размера единицы относительной влажности воздуха в следующей комплектации: генератор влажного газа HygroGen 2-XL (изготовитель – компания Rotronic AG, Швейцария) в комплекте с прецизионным гигрометром MBW 473 Dew Point Mirror (MBW Calibration Ltd., Швейцария) и гигрометр-компаратор HygroPalm HP 32-SET (Rotronic AG, Швейцария).

2. Комплекс для воспроизведения, хранения и передачи размера единицы температуры точки росы/инейя DCS-80 (Michell Instruments, Англия) в следующей комплектации:

- генератор влажного газа DG-4;
- прецизионный конденсационный гигрометр S8000RS;
- осушитель PSD-2;
- компрессор CMP-10-240;
- шкаф звукоизолирующий для компрессора CMP-SPC;
- приспособление для монтажа рабочих средств измерения температуры точки росы/инейя DCS-MAN;
- программное обеспечение Comms Kit.

В конструкции эталона реализована возможность независимой работы двух комплексов одновременно.

Принцип работы генератора влажного газа HygroGen 2-XL основан на методе смешения потоков влажного и сухого воздуха для получения заданного значения относительной влажности.

В генераторе установлена сменная ячейка с сорбентом, через который проходит отбираемый из окружающей среды воздух (допускается использование чистого азота). Ячейка обеспечивает получение воздуха, характеризующегося низкими значениями относительной влажности.

Получение высоких значений относительной влажности реализуется при пропускании воздуха через встроенный увлажнитель с емкостью для дистиллированной воды. Смешением сухого и влажного потоков управляет встроенный контроллер. Таким образом, достаточно задать значение относительной влажности на дисплее контроллера либо с помощью программного обеспечения на ПК, а последующие выход на режим и поддержание влажности в камере генератора осуществляются автоматически.

Функционально для генератора влажного газа HygroGen 2-XL предусмотрено также поддержание заданной температуры воздуха в измерительной камере с помощью встроенной системы поддержания температуры на базе элементов Пельтье.

В камеру генератора влажного газа HygroGen 2-XL помещается датчик температуры и влажности SH2/RP2 прецизионного гигрометра MBW 473 Dew Point Mirror, основанного на конденсационной технологии. Гигрометр отображает значение относительной влажности, а также температуры точки росы/иней и температуры на экране.

Комплекс для воспроизведения, хранения и передачи размера единицы температуры точки росы/иней DCS-80 является смонтированной в стойке системой, способной воспроизводить значения температуры точки росы/иней в диапазоне от -80 до $+20$ °С. В качестве рабочего газа можно использовать воздух или азот.

К генератору влажного газа DG-4 подается подготовленный (без примесей масла) сухой газ с температурой точки иней ниже -80 °С при атмосферном давлении, что позволяет воспроизводить нижнюю точку диапазона значений температуры точки росы/иней. Реализация процесса воспроизведения единицы температуры точки росы/иней возможна при обеспечении потоком газа с объемным расходом не менее 7 дм³/мин (при атмосферном давлении).

Принцип работы генератора влажного газа DG-4 основан на смешении потоков сухого и влажного газа. Смешение управляется автоматически, используя набор дозирующих клапанов, выбор комбинации которых для получения нужных пропорций смешения осуществляется переключением соленоидов.

Генератор влажного газа DG-4 используется вместе с контрольным прибором – прецизионным конденсационным гигрометром S8000RS.

Прецизионный конденсационный гигрометр S8000RS – высокоточный прибор, применяемый для измерения содержания влаги в воздухе и других газах. Он также позволяет определять относительную влажность и другие параметры,

вычисляемые на основе точки росы/иней, давления и температуры анализируемого газа. Данный гигрометр позволяет измерять точку росы/иней при температуре от -80 °С. Он работает по принципу охлаждаемого зеркала. Проба газа подается в измерительную камеру и проходит над поверхностью расположенного внутри охлаждаемого зеркала. В зависимости от содержания влаги в газе и рабочего давления образование жидкой фазы (конденсация влаги) на поверхности зеркала будет происходить при различных температурах.

Для определения наличия жидкой фазы используется оптическая система [2]. Информация, получаемая от оптической системы, применяется для управления температурой зеркала и поддержания стабильной толщины слоя конденсата на поверхности зеркала (рис. 1).

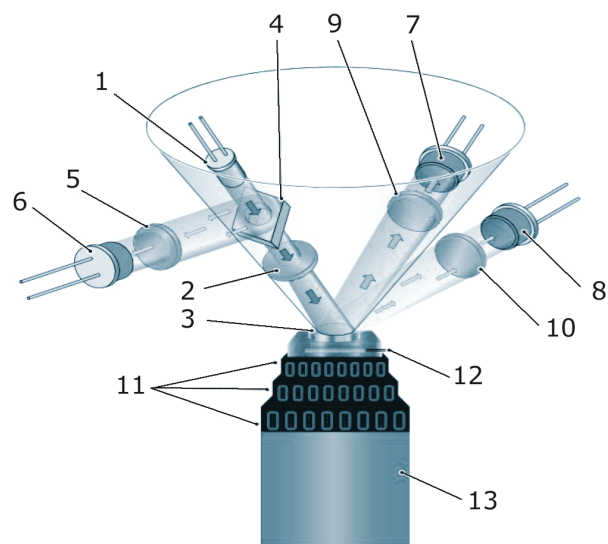


Рис. 1. Оптическая система

Светодиод (1) создает луч света постоянной интенсивности, который с помощью системы линз (2) фокусируется и направляется на поверхность зеркала (3). Прежде чем луч света достигнет зеркала (3), светоделитель (4) направляет часть пучка через систему линз (5) на датчик (6), который контролирует интенсивность света и создает контур обратной связи для поддержания постоянного уровня интенсивности света.

Два датчика (7 и 8) контролируют уровень света, отражаемого зеркалом. Датчик (7) измеряет уровень света отраженного падающего пучка, а датчик (8) – степень рассеяния света от образующегося на поверхности зеркала слоя воды/льда. Каждый датчик имеет собственную систему оптических линз (9 и 10), чтобы фокусировать отраженный свет на датчике.

Выходные сигналы датчиков сравниваются, а затем используются для управления термоэлектрическим преобразователем (11). В зависимости от результата сравнения система управления дает команду термоэлектрическому преобразователю (11) нагревать или охлаждать зеркало (3), чтобы поддерживать на его поверхности необходимую толщину слоя конденсата.

В точке равновесия, когда толщина слоя конденсата постоянна, то есть скорость испарения и скорость конденсации на поверхности зеркала равны, встроенным в зеркало платиновым термометром сопротивления Pt100 (12) определяется температура, которая в данный момент представляет собой точку росы по определению.

«Горячая» сторона элемента Пельтье соединена со вспомогательной системой охлаждения посредством теплообменника (13), который позволяет эффективно передавать на нее тепло и увеличивает скорость реакции. Система охлаждения отводит тепло от горячей стороны элемента Пельтье, дополнительно охлаждая его до еще более низкой температуры. Это расширяет возможности понижения температуры тепловым насосом и позволяет измерять очень низкие температуры точки росы.

Функционально эталон реализован по системе, основанной на работе генератора влажного воздуха (газов) в комплекте с прецизионным гигрометром. Использование варианта объединения генератора и прецизионного гигрометра в эталонный комплекс дает возможность воспроизвести единицы нескольких величин влажности с высокой метрологической точностью.

Метод разделения газа на два потока и смешения его, реализуемый в генераторах комплек-

сов в составе национального эталона единиц относительной влажности воздуха и температуры точки росы/инея, обладает рядом преимуществ перед другими методами, а именно:

- быстрый отклик системы при изменении заданных показателей;
- отсутствие необходимости создания дополнительного комплекса аппаратуры и средств подготовки газа;
- автоматизированное управление, позволяющее исключить ошибки оператора, зачастую присущие работе с высокоточными приборами.

Метрологические характеристики национального эталона единиц относительной влажности воздуха и температуры точки росы/инея представлены в таблице 1.

В рамках выполнения задания подпрограммы «Эталон Беларуси» п. 2.9 «Создать национальный эталон единиц относительной влажности воздуха и температуры точки росы/инея» были проведены пилотные сличения КОOMET 777/ВУ/19 «Пилотные сличения эталонов единицы относительной влажности». Данные сличения были реализованы тремя НМИ: Национальным институтом стандартизации и метрологии (Молдова), Восточно-Сибирским филиалом ФГУП «ВНИИФТРИ» (Российская Федерация) и БелГИМ (Беларусь) – пилот. Измерения относительной влажности выполнены с использованием трех национальных эталонов и с помощью гигрометра-компаратора HygroPalm HP 32-SET. Была продемонстрирована эквивалентность между участвующими лабораториями в калибровке гигрометра-компаратора HygroPalm HP 32-SET путем сравнения в диапазоне от 5 до 95 % при

Таблица 1

Метрологические характеристики НЭ 58-20

Наименование метрологических характеристик	Значения метрологических характеристик
Относительная влажность воздуха	
Диапазон воспроизведения и передачи единицы	от 5 до 95 %
Абсолютная погрешность относительной влажности	от 0,2 до 0,5 %
Расширенная неопределенность U_i при воспроизведении единицы ($P = 95 \%, k = 2$)	от 0,2 до 1,16 %
Температура точки росы/инея	
Диапазон воспроизведения и передачи единицы	от -80 до $+20$ °C
Абсолютная погрешность температуры точки росы/инея	0,1 °C
Расширенная неопределенность U_i при воспроизведении единицы ($P = 95 \%, k = 2$)	0,1 °C

температуре 23 °С и/или при температуре 5 и 40 °С.

С учетом решения задач инновационного развития страны, приоритетов научно-технической деятельности проводятся дальнейшие исследования и подготовительные работы по возможности расширения диапазона по относительной влажности, а также участия в международных сравнениях с целью размещения новых измерительных возможностей БелГИМ в международной базе KCDB VIPM.

Выводы

Метрологические характеристики национального эталона единиц относительной влажности воздуха и температуры точки росы/иней (НЭ 58-20) полностью удовлетворяют потребностям по метрологическому контролю средств измерений влажности газов таких предприятий, как ОАО «Нафтан», ОАО «Мозырский НПЗ», ОАО «Газпром трансгаз Беларусь», ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга БМК», ОАО «Химволокно», ОАО «Гродно Азот», ОАО «ИНТЕГРАЛ» – управляющая компания холдинга «ИНТЕГРАЛ», Белорусская АЭС, региональные ЦСМС и др.

Эффективность использования национального эталона единиц относительной влажности воздуха и температуры точки росы/иней выражена в импортозамещении метрологических услуг по калибровке и поверке средств измерений, эксплуатируемых на территории Республики Беларусь, а также их оказании зарубежным заказчикам.

Список использованной литературы

1. РМГ 75-2014 ГСИ. Измерения влажности веществ. Термины и определения.
2. Руководство пользователя гигрометра точки росы S8000 RS Michell Instruments.

Алина Георгиевна ДАВИДОВСКАЯ,

ведущий инженер по метрологии-исследователь производственно-исследовательского отдела физико-химических и оптических измерений БелГИМ;

Екатерина Васильевна ФИЛИСТОВИЧ,

начальник производственно-исследовательского отдела физико-химических и оптических измерений БелГИМ

Дата поступления 03.12.2020