

Датчик гигрометра коронного разряда без краевых эффектов

Ю. М. ИВАНОВ, В. П. КАТУШКИН, В. В. РОМАНЕНКО, В. А. УРАКОВ

ЗАО «МЕРА», С.-Петербург, Россия, e-mail: mera1@mail.wplus.net

Предложена новая конструкция чувствительного и стабильного датчика гигрометра, реализующего способ измерений влагосодержания и относительной влажности воздуха по выходному напряжению электрической схемы в зависимости от тока коронного разряда на электродах датчика.

Ключевые слова: гигрометр, относительная влажность воздуха, коронный разряд.

A novel design of hygrometer sensor with high sensitivity and stability is proposed. It is based on measurement of moisture content and air relative humidity by electric circuit output voltage as a function of corona discharge current on the sensor electrodes.

Key words: hygrometer, air relative humidity, corona discharge.

Появление отечественных стабильных источников высокого напряжения вновь вызвало интерес к чувствительным элементам, не содержащим влагозависимых сорбентов, и прежде всего, к датчикам гигрометров, использующим физическое явление коронного разряда. Датчики, чувствительный элемент которых представляет разнесенные на некоторое расстояние оптимизированные по конструкции металлические поверхности, являются более стабильными и чувствительными к влагосодержанию газов, так как их коэффициент преобразования характеристик влажности воздуха в электрический сигнал зависит только от проводимости металла электродов, расстояния между ними и приложенного напряжения. Датчики гигрометров, основанные на других физических принципах, например емкостные или резистивные, имеют влагочувствительную среду (сорбент), свойства которой значительно влияют на их стабильность и чувствительность [1]. Задача разработчиков — определение оптимальной геометрической формы и исследование возможности создания стабильного и высокочувствительного датчика без применения влагочувствительных сорбентов.

Известен датчик, в котором отсутствует дополнительное нанесение гигроскопического слоя на его чувствительные элементы. Внутренний коронирующий электрод этого датчика выполнен в виде проволоки, натянутой между торцами полого цилиндра, являющегося отрицательным электродом высоковольтного источника [1]. Недостаточная стабильность этого датчика обусловлена утечками энергии вследствие низкого качества изоляции коронирующего электрода и корпуса датчика.

Авторами был изготовлен датчик (рис. 1), состоящий из продуваемого воздухом толстостенного капролонового цилиндра 1 с двумя штуцерами 2. Внутри цилиндра установлен полированный латунный отрезок трубки 3, закрепленный стопорным винтом 4. Внутренние диаметры капролонового цилиндра и латунной трубки — 22 мм и 20 мм, соответствен-

но. Торцы капролонового цилиндра плотно закрыты изолирующими заглушками 7, 10 между которыми натянут коронирующий электрод 8 из первой гитарной струны, выполненной из углеродистой стали. К коронирующему электроду 8 подключен положительный высоковольтный вывод источника напряжения, а к внешнему электроду через ограничительный $R_{огр}$ и образцовый резистор $R_{изм}$ (100 кОм) — отрицательный вывод 6. Выходное напряжение $U_{вых}$ на внешнем электроде измеряется цифровым вольтметром 5.

Выходное напряжение зависит от силы тока коронного разряда. Относительная влажность ϕ и температура T воздуха в измерительной камере контролируются образцовым термогигрометром типа ТКА (основная относительная погрешность измерения ϕ составляет 1 %, основная абсолютная погрешность измерения T — 0,5 °С). Напряжение вы-

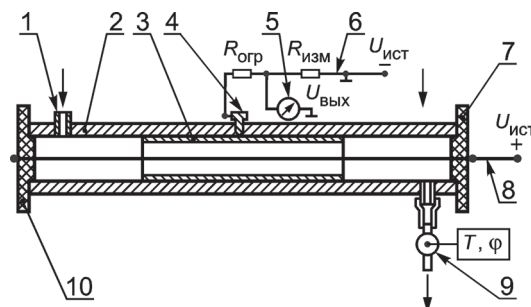


Рис. 1. Датчик и схема измерения с проволочным коронирующим электродом:

1 — капролоновый цилиндр; 2 — штуцеры; 3 — латунный отрезок трубки (внешний электрод); 4 — стопорный винт; 5 — вольтметр; 6 — отрицательный высоковольтный вывод источника; 7, 10 — изолирующие заглушки; 8 — коронирующий электрод; 9 — термогигрометр

соковольтного источника поддерживали постоянным (9,5 кВ) и контролировали электростатическим вольтметром типа С96 (класс точности 1,5). Результаты исследования зависимости выходного напряжения датчика $U_{\text{ВЫХ}}$, измеренного цифровым вольтметром типа UT70D (класс точности 1,0) от φ при нормальном атмосферном давлении приведены в табл. 1.

Таблица 1

Зависимость выходного напряжения датчика и влагосодержания от относительной влажности воздуха при нормальном атмосферном давлении и температуре $(26,0 \pm 0,5)^\circ\text{C}$

Параметр	Относительная влажность воздуха, φ , %							
	2,5	8,2	12,5	17,2	22,7	27,6	31,8	38,9
Напряжение, $U_{\text{ВЫХ}}$, В	21,5	20,0	18,5	17,5	17,0	16,0	15,5	14,5
Влагосодержание, d , г/кг	0,5	1,4	2,7	3,8	5,0	6,0	7,2	8,5

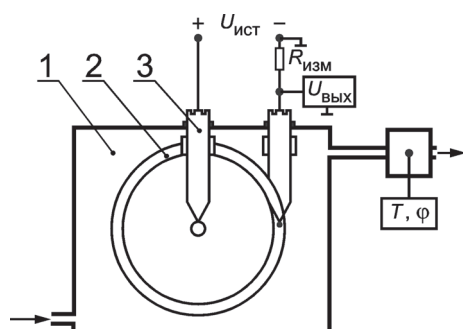


Рис. 2. Датчик «Шар в шаре» и схема измерения:

1 — проточная измерительная камера; 2 — внешний электрод;
3 — коронирующий электрод

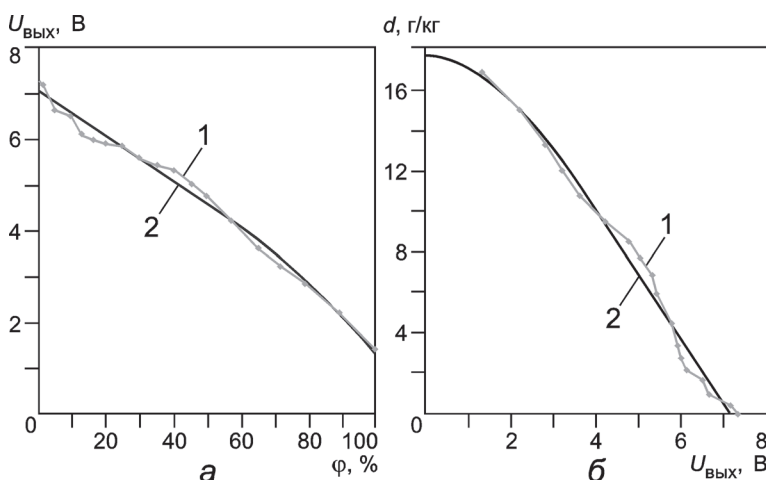


Рис. 3. Зависимости выходного напряжения $U_{\text{ВЫХ}}$ от относительной влажности воздуха (а) и влагосодержания воздуха d от выходного напряжения $U_{\text{ВЫХ}}$ (б) при измерениях датчиком «Шар в шаре»:

1 — экспериментальная зависимость; 2 — интерполяционная кривая

При $\varphi > 40\%$ показания цифрового вольтметра $U_{\text{ВЫХ}}$ становятся неустойчивыми, что можно объяснить двумя причинами: краевыми эффектами на торцах внешнего латунного электрода и утечками энергии по изолирующим крышкам, между которыми натянут внутренний электрод. Известные методы борьбы с указанными недостатками не дали положительных результатов [1].

С целью расширения диапазона измеряемой влажности воздуха и повышения точности измерений авторами статьи была предложена новая конструкция датчика гигрометра «Шар в шаре», где электроды коронного разряда крепятся непосредственно на высоковольтных кабелях, у которых на допустимом напряжении утечек нет.

На рис. 2 изображена проточная измерительная камера 1, в которой находится датчик гигрометра «Шар в шаре». Коронирующий электрод 3 в виде металлического шарика диаметром 4,5 мм припаян к положительному выводу высоковольтного источника и помещен в центре внешнего

электрода 2, выполненного в виде двух полушарий из металлической сетки, скрепленных между собой и со вторым отрицательным выводом источника. Для продувки и контроля влажности воздуха камера имеет два штуцера, к одному из которых присоединен компрессор исследуемого воздуха, а ко второму — проточная камера образцового термогигрометра. Контроль высокого напряжения 10,1 кВ осуществляют электростатическим вольтметром, а выходное напряжение измеряют цифровым вольтметром на образцовом резисторе 157 кОм, включенном последовательно с отрицательным выводом датчика.

Для проверки возможностей гигрометра с датчиком «Шар в шаре» был проведен следующий эксперимент. Измерительную камеру продували воздухом при температуре $T = 22,4^\circ\text{C}$ и напряжении от высоковольтного источника 10,1 кВ. Выходное напряжение датчика измеряли цифровым вольтметром $U_{\text{ВЫХ}}$ и оно составило 2,9 В. При этом φ , измеренная образцовым термогигрометром на выходе камеры, составила 73 % с учетом относительной погрешности измерения $\varphi \pm 1\%$. Результаты исследований экспериментального датчика приведены в табл. 2, а графическая зависимость $U_{\text{ВЫХ}}$ от φ представлена на рис. 3, а.

С помощью таблицы Рамзина ($I-d$) [2] эти данные пересчитаны на влагосодержание d путем решения уравнения

$$d = 0,04028U_{\text{ВЫХ}}^3 - 0,63024U_{\text{ВЫХ}}^2 - 0,04758U_{\text{ВЫХ}} - 17,712 \quad (1)$$

и представлены графически на рис. 3, б.

Т а б л и ц а 2

**Зависимость выходного напряжения датчика
от относительной влажности воздуха,
при нормальном атмосферном давлении
и температуре ($22 \pm 0,5$) °C**

Параметр		Параметр	
Относительная влажность воздуха, ф, %	Напряжение $U_{\text{вых}}$, В	Относительная влажность воздуха, ф, %	Напряжение $U_{\text{вых}}$, В
0,1	7,30	39,9	5,30
1,6	7,15	45,1	5,00
5,1	6,65	49,6	4,75
9,2	6,50	56,8	4,20
12,4	6,10	64,6	3,60
15,9	6,00	71,7	3,20
19,8	5,90	78,8	2,80
24,8	5,80	88,9	2,20
29,5	5,56	99,9	1,30
34,6	5,40		

Из (1) следует, что при $U_{\text{вых}} = 2,8$ В влагосодержание сухого воздуха $d = 13,26$ г/кг. По номограмме $I-d$ этому значению d при температуре $T = 22,4$ °C соответствует $\phi = 78,8$ % (см. табл. 2).

В процессе проведения эксперимента выявлены следующие правила эксплуатации гигрометра: периодически, примерно 1 раз в неделю, необходимо протирать коронирующий шарик и оба сетчатых полушария внешнего электрода хлопковой тканью, смоченной спиртом; между измерениями камеру необходимо продувать не менее трех минут.

Вывод. Предлагаемый датчик коронного разряда «Шар в шар» можно использовать для измерения влагосодержания и относительной влажности воздуха в диапазоне 5—95 % при температурах 10 °C — 35 °C.

Л и т е р а т у р а

1. Берлинер М. А. Измерения влажности. М.: Энергия, 1973. С. 309—312.
2. Тарабанов М. Г. и др. Справочное пособие АВОК «Влажный воздух». М.: Авок-Пресс, 2004.

Дата принятия 01.04.2014 г.