

# Метрологія та вимірювальна техніка

УДК 623.004.67

А.А. Єфіменко, А.М. Науменко

Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків

## ВИМІРЮВАННЯ ВОЛОГОСТІ В ОБЛАСТІ ГІГРОМЕТРІЇ ВИСОКИХ ТИСКІВ

Аналізуються методи вимірювань вологості на сучасному етапі розвитку приладобудування. Розглядається принципи вимірювання вологості в області гігрометрії високих тисків.

**Ключові слова:** методи гігрометрії, датчики вологості, гігрометри.

### Вступ

**Постановка задачі.** Вологовміст – параметр, який відіграє важливу роль при забезпеченні якості і характеристик високотехнологічних технічних і промислових процесів.

Даний параметр в кількісному виразі може характеризуватись різними фізичними величинами, серед яких найбільш широко розповсюдженим являється абсолютна вологість, молярна(об'ємна) доля вологи, об'ємний вміст вологи, температура точки роси, відносна вологість.

Таким чином, питання вимірювання й контролю вологості в газових середовищах є актуальною науково-прикладною задачею, що потребує розгляду різних методів вимірювання вологості.

**Аналіз літератури.** В відомій літературі [1 – 6] розглядаються методи вимірювання вологості зовнішнього середовища, але в цій літературі не визначаються питання, що пов'язані з дослідженням методів вимірювання вологості при високих тисках.

**Метою статті** є аналіз розробки та створення засобів метрологічного забезпечення для області гігрометрії високих тисків, в тому числі, уточнення формул та таблиць перерахунку показників вологості на різні тиски.

### Основний матеріал

Завдання вимірювання вологості у газах в умовах високих тисків виникають в нафтогазовій промисловості, пневматичних системах різного призначення, та ін. В даний час область гігрометрії для тисків вище 10 МПа метрологічно не забезпечена. Результати експериментальних досліджень показують, що реальна поведінка газу в таких умовах найбільш відхиляється від теоретично прогнозуемого, що робить неможливим градування приладу при нормальних тисках з екстраполяцією результатів на більш високі тиски. Тим не менш росте парк гігрометрів, які виконують вимірювання в таких умо-

вах, це означає, що росте актуальність проведення наукових досліджень, що спрямовані на розробку та створення засобів метрологічного забезпечення для області гігрометрії високих тисків, в тому числі, уточнення формул та таблиць перерахунку показників вологості на різні тиски. Це потребує рішення задачі створення еталону вологості для високих тисків газу, що призначений як для повірки робочих засобів вимірювання, так і для наукових досліджень.

Інший напрямок розвитку гігрометрії – метрологічне забезпечення області наднизького вологовмісту. Як показано вище, контроль вологості на рівні менше 1 ppm має бути забезпечений в високотехнологічних процесах. Для створення та метрологічного забезпечення гігрометрів, які дозволяють проводити такі вимірювання, необхідне створення еталону вологості для даного діапазону. Опір багатьох неметалевих провідників, в основному, залежать від вмісту в них води. На цьому принципі реалізуються резистивні датчики вологості або гігристиори.

На рис. 1 надана схема гігристиора.

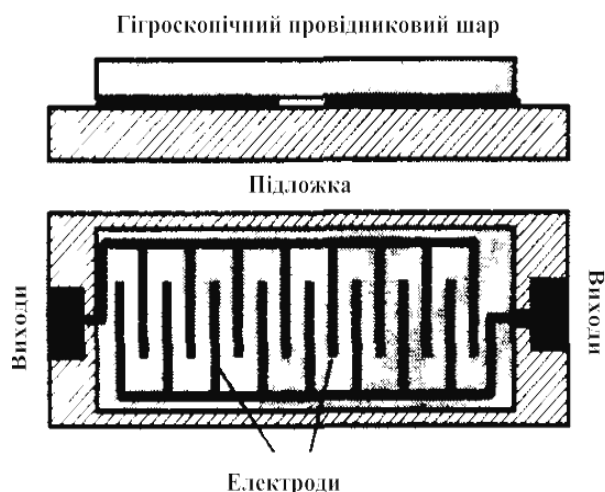


Рис. 1. Схема гігристиора

В ньому використовується матеріал, який має порівняльно низький питомий опір, який сильно залежить від вологості навколишнього середовища. Шар такого матеріалу доволі великої площини наноситься зверху двох гребінчастих електродів. Коли він поглинає молекули води, опір між електродами змінюється, що реєструється за до-

помогою електронної схеми. Схема твердотільного датчика вологості, реалізованого на кремнієвій підложці, яка має високу електропровідність, на дана на рис. 2.

Для пропускання струму через датчик на його поверхню нанесений прошарок, що виконує роль електрода.

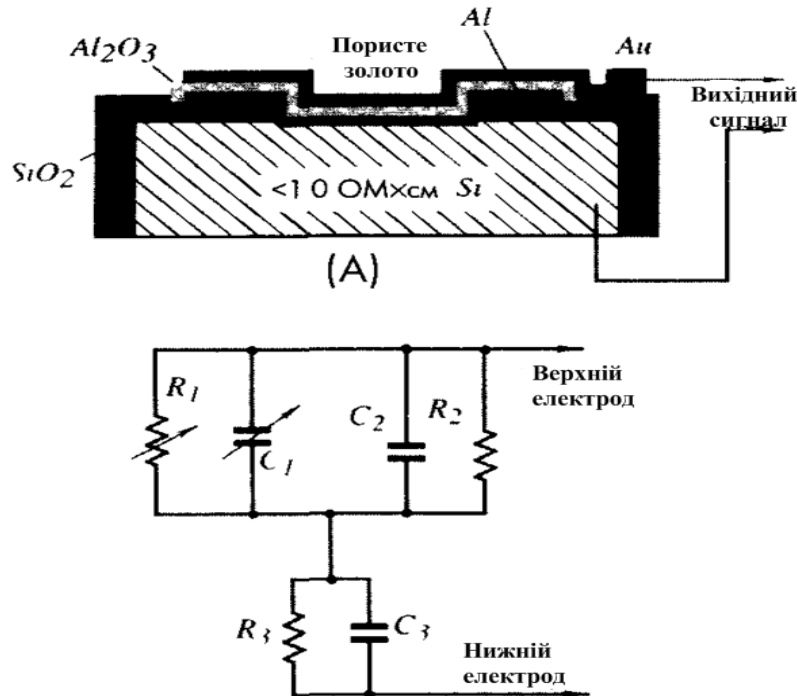


Рис. 2. Схема твердотільного датчика вологості

На електрод наноситься шар із оксиду алюмінію, поверх якого формується другий електрод з пористого золота, який не заважає походження газів, але забезпечує хороший електричний контакт. Шар алюмінію підлягає спеціальній обробці для отримання пористої оксидної поверхні. Середній поперечний переріз пор повинен бути достатнім для проходження молекул води. Електричні виводи формуються в кремнієвій підложці і шарі золота. Оксид алюмінію, як і багато інших матеріалів, при контакті з сумішшю газів, яка містить водяні пари, поглинає воду. Кількість поглинутих молекул води пропорційно парціальному тиску водяних парів й зворотно пропорційно абсолютній температурі. Оксид алюмінію являється діелектричним матеріалом. Його діелектрична проникність й поверхневий питомий опір залежать від кількості адсорбованої води.

Датчики, що реалізовані на основі термісторів, вимірюють вологість по зміні теплопровідності газів (рис. 3).

Такі датчики складаються з двох крихтих термісторів  $R_1$  та  $R_2$ , закріплених за допомогою дуже тонких проводів для пониження теплових втрат за рахунок теплопровідності через корпус. Досліджу-

ваний газ через невеликий вентиляційний отвір діє на лівий термістор, при цьому правий термістор розміщується в герметичній камері з сухим повітрям. Обидва термістора ввімкнені в мостову схему, на яку подається напруга  $+E$ . При проходженні току через термістори їх температура підвищується до  $170^\circ\text{C}$  відносно температури навколишнього середовища. Балансування моста проводиться в умовах сухого повітря, в зрівноваженому стані вихідна напруга повинна дорівнювати нулю.

Цей датчик дозволяє вимірювати відносну вологість повітря у діапазоні 5...90 % з точністю 2 %.

Побудова датчиків на охолодженому дзеркалі (рис. 4) аналогічна побудові оптичних гігрометрів з охолодженим дзеркалом. Різниця між ними є в тому, що точка роси визначається не по зміні оптичного коефіцієнта відображення поверхні, а по вимірюванню маси охолоджувальної пластини. Ця пластинка виготовлюється з тонкого кварцевого кристалу, що є частиною коливальної контури. Оскільки у основі вібрації кварцевої пластини лежить п'єзоелектричний ефект, з'явилось ще одна назва такого датчика - п'єзоелектричний гігрометр. Охолоджувач Пельтьє з високим ступенем точності контролює температуру кварцевого кристала

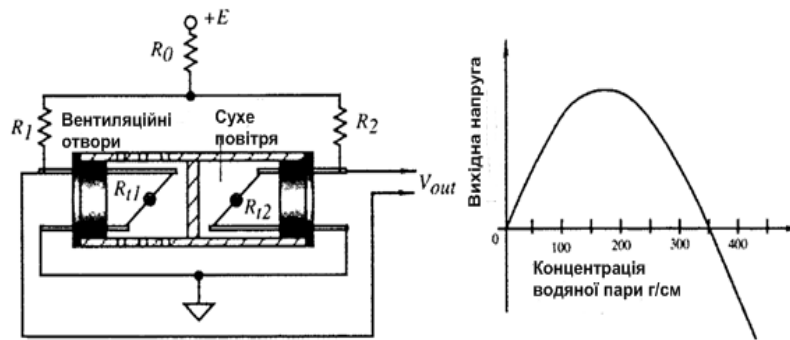


Рис. 3. Будова ємнісного датчика

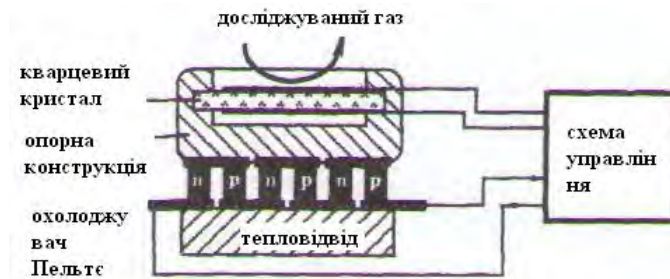


Рис. 4. Будова датчика на охолоджуваному дзеркалі

## Висновки

На основі проведених досліджень можна зробити такі висновки:

1. Однією з основних проблем в гігromетрії сьогодні є відсутність стандартизованих табличних залежностей для перерахунку одних одиниць вологості в інші, що засновані на параметрах водяного пару. В різних країнах види існуючих залежностей значно розрізняються, що веде до не точної інтерпретації отриманих результатів вимірювання приладами різних виробників. В якості орієнтиру можна прийняти широко розповсюджені в європейських країнах уточнені в 1990р. залежності Д. Зонтага [6].

2. Актуальними являються вимірювання вологості при високих тисках газу. Завдання вимірювання вологості в газах в таких умовах виникають в нафтогазовій промисловості, пневматичних системах різного призначення, та ін.. Це потребує рішення задачі створення еталону вологості для високих тисків газу, що призначений як для повірки робочих засобів вимірювання, так і для наукових досліджень.

## Список літератури

1. Поліщук Э.С. *Вимірювальні перетворювачі* / Э.С. Поліщук. – К.: Вища школа 2003.
2. Бартенев В.Р. *Технології PLUG & PLAY в техніці виміру температури* / В.Р. Бартенев, Р.В. Бартенев // *Контрольно-вимірювальні прилади й системи*. – 1997. – № 2. – С. 42-45.
3. Фарсане Н.Г. *Технологічні виміри й прилади* / Н.Г. Фарсане, Л.В. Илясов. – К.: Вища школа, 1999. – 340 с.
4. Бартенев В.Р. *Розподілена модульна система терморегулювання СИНТАЛ ТЕРМОЛІНК* / В.Р. Бартенев, Р.В. Бартенев // *CHIP NEWS*. – 1997. – № 9. – С. 12-15.
5. *Основи метрології й електричні вимір*. – М.: Энергоатом издат, 1987. – 370 с.
6. *Вимір електричних і неелектричних величин* / М.М. Євтіхiev та інші. – М.: Энергоатом издат, 1988. – 210 с.

Надійшла до редколегії 18.06.2015

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. В.Б. Кононов, Харківський університет Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба, Харків.

## ИЗМЕРЕНИЕ ВЛАЖНОСТИ В ОБЛАСТИ ГИГРОМЕТРИИ ВЫСОКИХ ДАВЛЕНИЙ

А.А. Ефименко, А.Н. Науменко

*Анализируются методы измерений влажности на современном этапе развития приборостроения. Рассматриваются принципы измерения влажности в области гигрометрии высоких давлений.*

**Ключевые слова:** методы гигрометрии, датчики влажности, гигрометры.

## MEASURING OF HUMIDITY IN AREA OF HYGROMETRY OF HIGH OF PRESSURES

A.A. Efimenko, A.N. Naumenko

*The methods of measuring humidity are analysed on the modern stage of development of instrument-making. Examined principles of measuring of humidity in the area of hygrometry of high pressures.*

**Keywords:** methods hygrometry, humidity sensors, hygrometers.