

В. Б. Кононов, О. А. Кононова, В. В. Олексюк

Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків, Україна

## МЕТОДИ ТА ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАННЯ ВОЛОГОСТІ СЕРЕДОВИЩА

**Анотація.** Предметом статті є основні методи та принципи побудови засобів вимірювання вологості при контролі параметрів навколишнього середовища. **Метою статті** є визначення доцільності використання того чи іншого методу вимірювання вологості у різних умовах експлуатації техніки. **Задача, що вирішується,** – обґрунтування методів та принципів вимірювання вологості середовища різними методами та способами, що застосовуються у різних галузях промисловості. **Висновки:** з усіх запропонованих методів найбільш розповсюдженими методами вимірювання вологості є конденсаційний гігрометр, що використовується у газовій та нафтовій промисловості, ємнісний та резистивний методи, які вимірюють вологу у рідинах та сипучих матеріалах, кулонометричний метод дозволяє вимірювати вологу при низьких значеннях, а також психрометри, які є найбільш розповсюдженими завдяки своїй стабільності при не високій вартості.

**Ключові слова:** вологість, вологовміст, точка роси, гігрометр.

### Вступ

**Постановка задачі.** Вимірювання і контроль вологості середовищ являється актуальною задачею як сучасних наук, так і її різних сферах. Вода входить до складу навколишнього повітря і є необхідною складовою для всіх живих створінь. Комфортність навколишніх умов визначається, в основному, двома факторами: відносною вологістю і температурою. 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 і характеристика високотехнологічних технічних і промислових процесів. Розповсюдженим є абсолютна вологість, молярна доля вологи, об'ємний вологовміст. Даний параметр в кількісному виразі може характеризуватись різними фізичними величинами, серед яких найбільш широко розповсюдженим являється абсолютна вологість, об'ємний вміст вологи, температура точки роси, відносна вологість. Робота багатьох приладів також сильно залежить від рівня вологості. Всі характеристики приладів визначаються при відносній вологості 50% і температурі 20-25°C. Рекомендується підтримувати такі ж умови і у робочих приміщеннях (правда, тут є виключення: наприклад, у виробничих кімнатах класу А вологість повинна бути 38%). Таким чином вимірювання

вологості є невід'ємною складовою процесу контролю у різних сферах людської життєдіяльності.

**Аналіз літератури.** В існуючій літературі [1-8] визначені основні методи вимірювання вологості, а також перспективи розвитку нових засобів вимірювання вологості з застосуванням автоматизованих, багатофункціональних, високоточних і швидкодіючих пристроїв [8]. У літературі [5, 7] розглянуті принципи побудови вимірювачів вологості твердих матеріалів. Але в цієї літературі не розглядаються питання конкретизації вимірювань вологості відповідних галузей промисловості.

**Метою статті** є аналіз та обґрунтування доцільності використання засобів вимірювання вологості при експлуатації техніки на різних підприємствах та в різних галузях промисловості.

### Основний матеріал

Для вимірювання й контролю вологості в газових середовищах застосовуються гігрометри, в основі яких лежать різні методи вимірювання вологості. Той чи інший метод має свої відмінні переваги для даної вимірювальної задачі, що й визначає його вибір в кожному конкретному випадку. Типові технологічні процеси, що вимагають контролю вологості наведені у табл. 1 (X – нафтодобувна та нафтопереробна промисловість, Y – харчова промисловість, текстильна промисловість, виготовлення лікарських препаратів, виготовлення паперової продукції, виробів з кераміки, резини, телекомунікації).

Таблиця 1 - Типові технологічні процеси контролю вологості

Сфера діяльності	Технологічний процес
Газова промисловість	Контроль вмісту вологи в якості примусу в чистих газах і газових середовищах.
Напівпровідникова промисловість	Контроль вологи в технологічних газах та газових середовищах. Потрібний рівень вмісту вологи не вище -96°C температури точки роси.
Авіаційна та космічна техніка	Контроль складу й властивості газових середовищ при випробуваннях авіаційної техніки, реактивних двигунів. Метрологічні дослідження. Спеціальне зварювання та фарбування. Висушені технологічні гази. Вимагаючий рівень вмісту вологи нижче -100°C температури точки роси.
X	Контроль вологи в технологічних газах. Контроль вологи в рідинах.
Атомні електростанції	Контроль вологи газового холодо-гента в реакторі, в технологічних газових магістралях. Вимагаючий рівень вмісту вологи від -60 до -100°C температури точки роси.
Y	Контроль вологи в технологічних газах, в рідких та сипучих матеріалах. Контроль вологи в чистих кімнатах, в виробничих приміщеннях.

До найбільш широко розповсюджених в сучасній вимірювальній практиці методів можна віднести конденсаційний метод, ємнісний і резистивний методи, оптичні методи ІЧ та УФ поглинання та психрометричний метод вимірювання відносної вологості.

Конденсаційний метод. Сутність конденсаційного методу вимірювання температури точки роси полягає в охолодженні аналізуючого газу до температури, при якій починається випадіння конденсату вологи та вимірювання даної температури.

В конденсаційному гігрометрі точки роси конденсат у вигляді роси або льоду випадає на плоскій дзеркальній поверхні металевої пластини. Випадання конденсату визначається оптичною системою шляхом визначення зміни інтенсивності відбитого і розсіяного з поверхні пластини світла. Температура конденсації визначається по термометру опору, вмонтованого в пластину. Результат вимірювання температури точки роси може бути визначений по моменту випадіння конденсату або по моменту встановлення врівноваженої товщини конденсату. Конструкція гігрометрів варіюється від заглиблених щупів до стаціонарних пристроїв проточного типу з зовнішню системою пробо відбору. Поряд з оптичною системою, наявність конденсату може визначатись шляхом вимірювання електричних параметрів на поверхні пластини або частоти вмонтованого в її поверхню кварцового резонатора.

Основні переваги конденсаційних гігрометрів – більш висока точність вимірювання вологи, висока довготривала стабільність, широкий діапазон вимірювання. До недоліків можна віднести складність налаштування, вплив наявності забруднення в аналізуючому газі на точність вимірювання, складність визначення агрегатного стану конденсату при температурах нижче 0°C, тривалий час вимірювання на нижній межі діапазону, високу вартість приладу.

Переважаюча область застосування конденсаційних гігрометрів - контроль температури точки роси газових середовищ в нафтовій та газовій промисловості безпосередньо в газових магістралях. Крім того, внаслідок широкого температурного діапазону вимірювання, конденсаційні гігрометри застосовуються для вимірювання в процесах сушки при високих температурах, в харчовій промисловості та в кліматичних камерах.

В теперішній час широко розповсюджені переважно закордонні високоточні гігрометри температури точки роси для лабораторних та промислових вимірювань серії DP фірми «BMW Electronic» (Швейцарія); серії S4000 фірми «MICHELL Instruments» (Великобританія); серії DewPro фірми «General Eastern» (Германія); для нафтової та газової промисловості можна відмітити серію «Конг-Прима» ВАТ НПФ «Вимпел» (м. Москва).

Ємнісний та резистивний методи. Сутність ємнісного та резистивного методів полягає у вимірюванні електричних параметрів гігроскопічного матеріалу, що нанесений на датчик вологості і адсорбуючий молекули води. В більшості сучасних датчиків реалізована тонкоплівочна технологія створення гігроскопічного шару. Зазвичай гігромет-

ри виготовлені в вигляді щупів з встановленим в безпосередній близькості один від одного датчиками вологості та температури (внаслідок наявності температурної залежності датчика вологості), що підключені кабелем до перетворювача.

Форма та розміри щупів визначаються конкретно вимірювальною задачею. Датчики комплектуються фільтрами для запобігання забруднення чутливого гігроскопічного шару.

Окремим типом датчиків ємного типу є датчики точки роси з оксидним та кремнієвим гігроскопічними матеріалами, що мають діапазон вимірювання у області низьких вологостей.

Основні переваги ємнісних і резистивних гігрометрів - простота використання, широкий спектр областей використання, при наявності відповідних адапторів можливість вимірювання в рідких та сипучих матеріалах, доступна вартість.

До недоліків можна віднести можливості зсуву кривої градування та гістерезис, при використанні при підвищених температурах та вологості; пошкодження агресивними домішками; виходу з ладу при випаданні конденсату на поверхні чутливого елемента (ЧЕ).

Область застосування ємнісних та резистивних гігрометрів найбільш широка: від контролю вологості виробничих газових середовищ, вологості в приміщеннях та робочих зонах, в сховищах, холодильниках, метеорологічних вимірюваннях, контролю сухих технологічних газів в трубопроводах до вимірювання рівноважної вологи в сипучих матеріалах, поверхневої вологості.

В даний час широко розповсюджені ємнісні гігрометри серії ІВГ-1 та ІВТМ-7 ВАТ «Практик-НЦ» (м. Зеленоград), серії ІВА ТОВ «Мікрофор» (м. Москва), серій «Волна», «Істок» ВАТ «Ангарське ОК-БА» (м. Ангарськ), гігрометри з полімерними датчиками фірм «Testo» (Германія), «Vaisala» (Фінляндія), «Rotronik» (Швейцарія), «General Eastern» (Германія), гігрометри з алюмінієво-оксидними датчиками «Shaw» (Великобританія), «Endress+Hauser» (Германія), «Panamertis» (Великобританія), «General Eastern» (Германія), з кремнієвими датчиками «МСМ» (Великобританія) та ін.

Кулонометричний метод. Принцип дії кулонометричного методу полягає в наступному. Датчик кулонометричного гігрометра містить два електрода, на які нанесена плівка високоефективного сорбенту-фосфорного ангідриду ( $P_2O_5$ ) з високим питомим опором в сухому вигляді і високою провідністю після адсорбції води із аналізуючого газу. Газ пропускається через датчик над тонкою плівкою  $P_2O_5$  з двома металевими електродами, до яких підводиться постійний струм, внаслідок чого в датчику безперервно протікають два процеси: поглинання вологи плівкою з утворенням фосфорної кислоти і електроліз води з регенерацією фосфорного ангідрида. При цьому волога повинна повністю поглинатись ЧЕ, і електроліз води має бути повним. Для чого напруга на електродах має бути більшою 2 В (потенціал розкладу води близький до цієї величини), а сам датчик повинен мати довжину, що достатня для

поглинання з потоку газу всієї вологи. При дотриманні цих умов між обома процесами настає рівновага, і сила струму, що протікає через електроди, пропорційна добутку вологовмісту на витрату газу.

Психрометричний метод. Цей метод має широкий діапазон вимірювань, можливість роботи при підвищеній температурі і в умовах конденсації. До недоліків відноситься інерційність вимірювання, зволоження аналізуючого середовища в процесі експлуатації, менша в порівнянні з іншими методами точність вимірювання, необхідність регулярного обслуговування.

Широко розповсюджені психрометри типу ВІТ, аспіраційні психрометри типу М-34 та МВ-4, електронні психрометри фірми Quest-Tech (США).

### Висновки

1. Конденсаційні гігрометри застосовуються в нафтовій та газовій промисловостях, а також в кліматичних камерах (під час процесу сушки). Ємнісний та резистивний методи мають популярність по тій причині, що вимірюють вологу у рідких та сипучих матеріалах. Кулонометричний метод дозволяє вимірювати вологість при низьких значеннях вологості з властивою точністю, а також вимірювання вологості в різних газових сумішах. Психрометричний метод вимірювання вологості є найбільш розповсюдженим по тій причині, що він є надійним і стабільним при своїй не високій вартості.

2. Контроль рівня вологості є необхідним на багатьох підприємствах. Метод вимірювання вологості резистивним датчиком, в основному, залежить від вмісту вологи у неметалевому провіднику, завдяки цьому у провідника змінюється опір.

Ємнісні датчики вимірювання вологості є найбільш розповсюдженими у системах контролю фармацевтичної продукції, цей метод є дещо неточним при вологості менше 0,5%. Найефективнішим методом визначення вологості є розрахунок абсолютної та відносної вологості за температурою точки роси. Тому вимірюючи температуру точки роси ці датчики вологості забезпечують економічне, точне і гнучке вирішення широкого спектру питань промислового контролю.

3. Гігрометр на охолодженому дзеркалі – це вдосконалена «чаша роси». Вважається, що автоматичний гігрометр на охолоджуваному дзеркалі та безперервний контроль є одним з найбільш точних і надійних інструментів виміру вмісту водяної пари в газі. Також можна виділити те, що є різні способи реєстрації та вимірювання точки роси/інею. Вимірювання точки роси реалізується при температурі вище 0 °С. Головною перевагою гігрометрів на охолодженому дзеркалі є висока точність показів, широкий діапазон вимірювань та застосувань, жорстка конструкція та низька вартість.

4. Для області гігрометрії існує Державний первинний еталон відносної вологості, відносно до ГОСТ 8.547-86 «Державний первинний еталон і Державна повірочна схема для засобів вимірювання відносної вологості». В лабораторії Державних еталонів застосовується, гігрометрична установка, що входить до складу Державного первинного еталону одиниці молярної частки і масової концентрації компонентів у газовому середовищі ГЕТ 154-01. Метрологічні характеристики цієї установки затверджені міжнародними та внутрішньо державними зв'язками.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Кузнецов В. А. Вимірювання в електроніці. К.: Енергоатом, 2018.
2. Коряків В. І. Прилади в системах контролю вологості твердих речовин і їх метрологічні характеристики. / В. І. Коряків, А. С. Запорожець. – К.: Десна, 2012.
3. Іванченко Ю. А. Чим вимірюється вологість? / Ю. А. Іванченко, А. А. Федоров. – К.: Промінь.
4. Богачук В. В. Методи та засоби вимірювального контролю вологості матеріалів. / В. В. Богачук. — В.: Лебідь, 2008.
5. Лесотехническая академия "Технопарк ЛТА". Измерение влажности древесины приборами GANN. – СПб, 2002.
6. Почтаренко Л. Д., Науменко А. М. Дослідження методів вимірювання вологості газів та метрологічне забезпечення гігрометрії // Системи озброєння і військова техніка. -2010.-№ 2 (22).- С. 213-214.
7. Фрайден Дж. Современные датчики. Справ. Пер. з англ. Техносфера, Москва, 2005, 590 с.
8. Мельников В. И., Лабутин С. А., Шаронов Д. А. Анализ ультразвуковых импульсных методов измерений влажности нефти // Датчики и системы. - 2006. - № 1.

Received (Надійшла) 21.02.2021

Accepted for publication (Прийнята до друку) 07.04.2021

### Methods and principles of construction of measuring instruments humidity of the environment

Volodymyr Kononov, Helen Kononova, Volodymyr Oleksiuk

**Abstract.** Humidity control is necessary in many companies. The method of measuring the humidity of the resistive sensor mainly depends on the moisture content in the non-metallic conductor, due to which the resistance of the conductor changes. **The subject** of the article is the basic methods and principles of constructing instruments for measuring the humidity of the environment and their control. **The purpose** of the article is to substantiate the expediency of using moisture measuring instruments when operating equipment at various enterprises and in various industries. **The task** that is being solved is the substantiation of the methods and principles of measuring the humidity of the environment using pink methods and methods, which of the methods is the most common and which are the main disadvantages in hygrometry. **Conclusions:** of all the proposed methods, the most common methods for measuring humidity are a condensation hygrometer, used in the gas and oil industry, capacitive and resistive methods that measure moisture in liquids and bulk materials, the coulometric method allows you to measure moisture at low values, as well as psychrometers, which are the most common due to their stability at a low cost.

**Keywords:** humidity, moisture content, dew point, hygrometer.