

УДК 543.275.1

Й. Й. Білинський¹
О. С. Городецька¹
Д. В. Новицький¹

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ВИЗНАЧЕННЯ ТЕМПЕРАТУРИ ТОЧКИ РОСИ ЗА ВОЛОГОЮ ТА ВУГЛЕВОДНЯМИ

¹Вінницький національний технічний університет

За результатами проведеного аналізу стану забезпечення визначення параметрів вологості природного газу встановлено, що у газопромисловій практиці, частіше, як показник вологості, використовують значення температури точки роси вологи — температури початку конденсації (кристалізації) пари вологи, яка присутня в складі газу за визначеного тиску. Нормативними документами, в більшості, регламентуються саме значення температури точки роси вологи з огляду на їх найбільшу інформативність. Проведено огляд основних методів визначення температури точки роси за вологою та вуглеводнями, наведено їх класифікацію, згідно з якою виділено такі методи визначення температури точки роси: фізичні, хімічні, фізико-хімічні, випарювально-психрометричні, сорбційні, конденсаційні. Визначено основні недоліки методів, проаналізовано основні проблеми вимірального контролю температури точки роси. Враховуючи багаторічний досвід застосування вимірального обладнання в умовах виробництва, конденсаційний метод визнано найпридатнішим для застосування.

Проаналізовано засоби вимірального контролю вологості природного газу за температурою точки роси, розглянуто фізику процесу перетворення, особливості вимірювання. Існуючі на теперішній час методи визначення параметрів вологості природного газу, як основного показника його якості, та стан їх реалізації в технічних засобах не забезпечують необхідної точності під час вимірювань в автоматичному режимі внаслідок впливу на результат вимірювання домішок різної природи, які входять до складу природного газу, крім того виникає складність детектування двох температур точок роси водночас. Ці недоліки вимагають подальшого вдосконалення методів та засобів визначення температури точки роси за вологою та вуглеводнями.

Ключові слова: методи визначення температури точки роси за вологою та вуглеводнями, природний газ, конденсаційні методи, гігрометр.

Вступ та постановка задачі

Природний газ є складною сумішшю різних вуглеводневих компонентів, але крім них він містить різні домішки, що чинять істотний вплив на процес транспортування газу. Найвагомими є домішки води, присутність якої в газі небажана, оскільки при транспортуванні газу можуть спостерігатися випадки корозії трубопроводів і арматури, а також утворення гідратів (продуктів приєднання води до різних речовин) та конденсату [1], [2]. В результаті зменшується пропускна спроможність газопроводу (до повної закупорки), ушкоджуються фільтри, крани, компресори. Крім того, вміст вологи знижує питому теплоту згорання газу.

У газопромисловій практиці загальноприйнятими параметрами, які характеризують вологість та вміст важких вуглеводнів в природному газі, є температура точки роси вологи та вуглеводнів. Це пояснюється тим, що точка роси є найінформативнішим показником кондиційності природного газу, за значенням якого можна навіть без додаткових розрахунків, а тільки порівнюючи його з температурами газу та газового обладнання, оцінити ступінь його транспортної кондиційності і зробити попередній прогноз щодо її збереження під час подальшого транспортування.

Метою роботи є аналітичний огляд основних методів визначення температури точки роси за вологою та вуглеводнями, наведення їх класифікації та аналіз конструктивних особливостей гігрометрів.

Важливе місце в структурі контролю вмісту вологи у природному газі займає розробка документів нормативного і методичного характеру, які регламентують процес проведення вимірювань і контроль вмісту вологи в газах, встановлюють науково обґрунтовані норми для значень якісних показників газу. На сьогодні чинним в Україні документом, який містить санітарно-гігієнічні вимоги та вимоги безпеки, є міждержавний ГОСТ 5542-87 «Газ горючий природний для промислового і комунально-бытового назначения. Технические условия» [3]. Особливе місце в нормативному забезпеченні якості природного газу займають стандарти, в яких встановлені методи визначення вмісту в газі води та вуглеводнів, оскільки від достовірності визначення цих показників залежить ефективність і безаварійність транспортування та споживання газу. Держспоживстандартом України введено низку міжнародних стандартів з вимірювання вологості природного газу, прийнятих як ДСТУ ISO зі ступенем відповідності — еквівалентні. Таким чином з питання вимірювання вмісту вологи та температури точки роси вуглеводнів в природному газі чинні такі нормативні документи державного рівня [4]—[7].

На основі аналізу показників якості газу в Україні та в європейських країнах, які отримують частину природного газу з тих самих магістральних газопроводів, що й Україна, встановлено, що суттєвим недоліком вітчизняної нормативної бази щодо показників якості газу є значення точки роси вологи та вуглеводнів у ньому. Цей показник призначено (або є визначальними) для захисту від утворення у мережах рідин та гідратів. Вони впливають на характеристику горіння палива.

У зв'язку з тим, що температура газу в газових мережах може мати додатне значення, [3] має серйозний недолік стосовно нормування точки роси вологи, яка логічно може також набувати додатних значень температури [8], [9].

Особливої ваги ці показники набувають для виробників витратовимірювальної техніки, які дуже часто скаржаться на її вихід з ладу через надмірну вологість природного газу та випадання чи налипання на вимірювальні вузли рідинних вуглеводнів. У [10] наводять характеристику залежності точки роси вологи та вуглеводнів для типового складу природного газу залежно від його тиску в газопроводі (рис. 1).

Як впливає з рис. 1, точка роси вологи та вуглеводнів в діапазоні високих тисків має від'ємне значення, яке регламентується відповідними значеннями у європейських НД. Таким чином, в [3] потребує конкретизації в числовому виразі показник точки роси вологи та введення нормативного значення показника точки роси вуглеводнів для забезпечення уникнення утворення рідин і гідратів у газопроводах та підвищення якості горіння газу у споживачів.

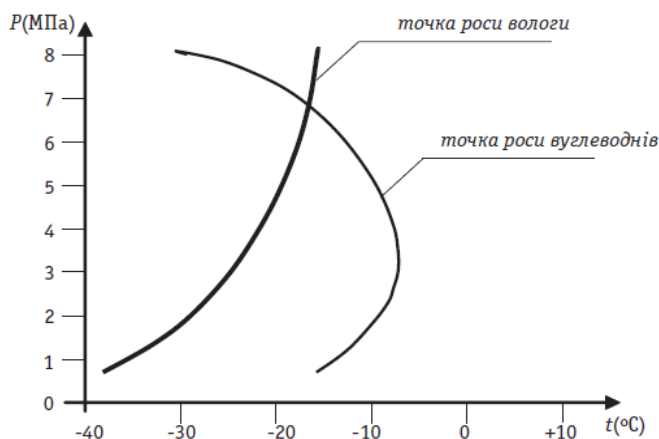


Рис. 1. Залежність точки роси вологи та вуглеводнів для типового складу газу

Класифікація методів визначення температури точки роси

До основних методів, які застосовуються для визначення вологи та (або) точки роси вуглеводнів у газах та, зокрема, у природному газі, відносять [1], [2], [8], [11]: фізичні методи визначення вмісту вологи, хімічні методи визначення вмісту вологи, фізико-хімічні методи визначення вмісту вологи, випарювально-психрометричні методи визначення вологості, сорбційні методи визначення вологості, конденсаційні методи визначення температури точки роси вологи та вуглеводнів.

Фізичні методи вимірювання параметрів вологості [2], [8], [11] газів можна додатково розділити на хвильові та загальнофізичні. Хвильові (спектрально-оптичні) методи вимірювання вмісту вологи в газоподібному середовищі засновані на поглинанні електромагнітних та радіоактивних випромінювань парою води [1], [2]. Ці методи мають високу чутливість, яка збільшується зі зменшенням вологості, та невелику (на рівні 0,5...3 %) похибку вимірювань. Основними недоліками хвильових методів є складність апаратури, за допомогою якої реалізують метод, та можливість використання методу для визначення вмісту вологи тільки в чистих газах. До хвильових методів можна віднести такі: інфрачервоний, оптико-акустичний, ультрафіолетовий, радіоактивний, радіоспектрометричний.

До методів, які використовують загальнофізичні принципи визначення параметрів вологості газів [2], [8], [11], можна віднести такі: пневматичний, акустичний, дифузійний, тепловий, мас-спектрометричний, діелектричний.

Хімічні методи визначення вмісту водяної пари в газовому середовищі мають деякі особливості, які полягають в тому, що процес визначення супроводжується хімічною реакцією [2], [10], [11]. Деякі з цих методів є придатнішими для застосування в лабораторних умовах. До хімічних методів можна віднести такі: ваговий, абсорбційний, колірний, турбодиметричний, газометричний.

Фізико-хімічні методи є найбільшою з усіх груп методів визначення вмісту вологи в газах. Методи, які входять до цієї групи, є вельми різноманітними за принципом дії [2], [10]—[13], а вимірювальна база, що їх реалізує, має значну кількість модифікацій. Однак спільним для усіх є основний принцип первинної дії — поглинання твердою (адсорбція), або рідкою (абсорбція) речовиною пароподібної вологи з газу, що аналізується.

До фізико-хімічних методів відносять: ваговий, деформаційний, частотний (п'єзокварцевий), сорбційно-ємнісний (дієлькометричний), тепловий (калориметричний), інтерферометричний, хроматографічний, резистивний, об'ємний, термоелектролітичний, кулонометричний [2].

Випарювально-психрометричні методи засновані на існуванні залежності швидкості випарювання з поверхні межі розподілу вода-газ від відносної вологості газу [2], [8], [13]. Виділяють такі випарювально-психрометричні методи: конденсаційно-психрометричний, компенсаційно-психрометричний, випарювально-ваговий.

Недоліки методів полягають у неможливості проведення вимірювань за від'ємних температур газу та існування залежності показань від швидкості протікання досліджуваного газу і його тиску. На показання психрометра дуже впливає чистота води, яка зволожує «мокрый» термометр. Навіть наявність залишків солі в дистильованій воді, які накопичуються на поверхні матеріалу «мокрого» термометра, є здатною значно спотворювати результати вимірювань.

В основі всіх конденсаційних методів визначення температури точки роси лежить явище конденсації вологи з газу, тому вони і мають таку назву, а відрізняються вони між собою способом визначення початку моменту конденсації [2], [8], [10], [11], [14]. Різновидами конденсаційних методів є:

– адіабатичний метод, заснований на вимірюванні тиску досліджуваного газу в момент початку конденсації пари вологи за його адіабатичного розширення;

– тепловий метод, заснований на визначенні моменту початку конденсації вологи на конденсаційній поверхні за змінням її температури внаслідок виділення паром вологи скритої теплоти пароутворення;

– компресійний метод, заснований на визначенні мінімального надлишкового тиску газу, що аналізується, за якого на конденсаційній поверхні, попередньо охолодженій, відбувається конденсація та підтримується шар вологи;

– ваговий (гравіметричний) метод, заснований на існуванні залежності маси сконденсованої води з визначеного об'єму газу від його вологовмісту;

– конденсаційно-згущувальний метод, заснований на залежності маси вологи, що конденсується з визначеного об'єму при його охолодженні, від вмісту вологи;

– вихровий метод, заснований на використанні ефекту Ранка. Цей ефект полягає в тому, що у разі потрапляння в середину циліндричного отвору крізь тангенційно розташоване сопло стисненого газу відбувається перерозподіл температур газу впродовж перетину за рахунок відцентрових сил. За наявності в газі пари вологи в процесі охолодження волога конденсується та переходить в рідкий або твердий стан. При цьому ефективність роботи вихрової труби зменшується та температура «холодного» газу починає збільшуватись;

– конденсаційно-термометричний метод визначення вмісту вологи за значенням температури точки роси заснований на вимірюванні температури конденсації та випарювання вологи на поверхні охолоджуваного тіла з досягненням рівноваги тисків насиченої водяної пари досліджуваного газу і робочого тиску. За температури початку конденсації (температури точки роси) досягається гідродинамічна рівновага між водяною паром вологого газу та шаром конденсату вологи на поверхні охолоджуваного тіла. Важлива перевага приладів, в основі принципу дії яких лежить цей метод, полягає в незалежності температури, яка визначається, від температури досліджуваного газу. Це дає можливість встановлювати вимірювачі на значній відстані від основної магістралі з досліджуваним газом. Оскільки вимірювання точки роси зводиться до вимірювання температури, точність вимірювачів, які реалізують цей метод, є дуже високою, а для їх градування в більшості випадків достатньо градування термометра або перетворювача температури. Межі вимірювання

гігрометрами, які реалізують конденсаційний метод, достатньо великі ($-90 \dots +40 \text{ }^\circ\text{C}$). Час, необхідний для проведення вимірювання, становить від 1 до 10 хвилин, похибка складає від 0,2 до $2 \text{ }^\circ\text{C}$. Прилади, що реалізують цей метод, мають достатньо просте конструктивне виконання та можуть бути застосованими для вимірювань за великих значень тиску газу (до 250 кг/см^2) [10], [14].

Гігрометри, які використовують сорбційні методи, простіші у конструктивній реалізації в порівнянні з розглянутими, але їх робота в середовищі природного газу має деякі недоліки. А саме, можливість хімічної взаємодії між активною речовиною первинного перетворювача та газом, що аналізується, або наявними в його складі домішками і речовинами, які входять до його складу. При цьому з часом може знижуватись чутливість первинного перетворювача до вологи.

В газовій промисловості випарювально-психометричні методи не знайшли використання внаслідок наявності високих та нестабільних значень тисків природного газу, а також необхідності проведення в деяких випадках вимірювань за від'ємних значень температури газу.

Переважаюча кількість створених методик та засобів вимірювальної техніки використовує в основі конденсаційний метод вимірювання. Це зумовлено більшою їх придатністю для визначення параметрів вологості саме природного газу в промислових умовах. Ці прилади дають можливість визначати безпосередньо температуру точки роси вологи, а саме цей параметр, насамперед, необхідний для визначення транспортної кондиційності природного газу. Прилади, що реалізують конденсаційний метод вимірювання, крім конструктивних та експлуатаційних переваг мають головну перевагу — дають можливість проведення прямого вимірювання параметра вологості природного газу, який можна застосовувати без додаткових розрахунків, та таким чином позбавлятися методичної складової загальної похибки отриманого результату.

Основні засоби вимірювального контролю температури точки роси

Прилади, що реалізують конденсаційний метод визначення вологості природного газу, складають основну частину парку вологомірів, які використовуються на об'єктах газової промисловості України і їх кількість становить до 98 % від загальної. Найрозповсюдженішими представниками цього класу приладів є «Харьков-2», який реалізує конденсаційний метод у статичному режимі і має ручне керування, прилади «Chandler» та «Харьков-5», які реалізують конденсаційний метод у динамічному режимі і мають також ручне керування, та такі прилади, як «Конг-Прима», «Торос», «Диполь», «ФОГ-2Г», які реалізують конденсаційний метод у динамічному режимі і мають автоматичне керування процесом вимірювання [14], [15].

Гігрометри відомих світових виробників («Michell», «Marquis», «Bovar») об'єднують єдиний підхід у використанні конденсаційної поверхні, охолоджувача, сенсора температури та оптичної схеми. Особлива увага приділяється сенсорному елементу, оскільки необхідно точно визначити температуру конденсації [10], [16], [17]. На рис. 2 показано структурну схему гігрометра з волоконно-оптичним детектором точки роси [13].

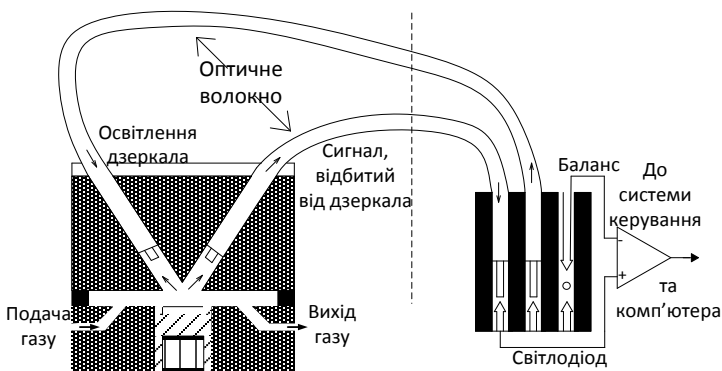


Рис. 2. Структурна схема гігрометра з волоконно-оптичним детектором точки роси

Лазерне світло від світлодіода подається через оптичне волокно на чутливий елемент, відбите лазерне світло через оптичне волокно потрапляє на фототранзистор. Час відгуку цього гігрометра для лазерної точки роси становить $12 \dots 180 \text{ с}$. Точка роси визначається з точністю $\pm 0,5 \text{ }^\circ\text{C}$, що відповідає $\pm 2 \%$ відносної вологості за температури $27 \text{ }^\circ\text{C}$. [16]. Хоча абсолютна вологість не залежить від температури, метод вимірювання точки роси залежить від температури.

Одним із способів вирішення цієї проблеми є використання оптичного волокна, як описано вище. Іншим способом є використання одного нагрівача з мікро-повітряним мостом для усунення впливу температури навколишнього середовища при вимірюванні абсолютної вологості за допомогою термодатчика [18]. Розроблено новий засіб з використанням пристрою Пельтьє (термоелектричного охолоджувача) для швидкої реєстрації фотоприймачем оптичного сигналу у разі випадання конденсату на холодній стороні пристрою Пельтьє [17]. Термоелектричний пристрій з'єднаний з

імпульсним джерелом струму. Під час охолодження прикладений струм припинявся, як тільки спостерігалась зміна оптичного відгуку через появу сконденсованих крапель води. Потім застосовувався зворотний імпульс для швидкого повернення до температури навколишнього середовища. Час затримки виявлення оптичного сигналу становить 0,25...12,2 с для вологості в діапазоні 15...70 %. Схема оптичного детектора точки роси показана на рис. 3 [19]. Він складається з одноступінчатого термоелектричного охолоджувача, розташованого на мідному радіаторі. Світлодіод та фотодетектор розташовується над холодною стороною термоелектричного охолоджувача (пристрої Пельтьє) [19]. Фотодетектор реалізований на основі пари фотодіод—операційний підсилювач (рис. 4) [20], де фотодіод VD діє як генератор струму, а операційний підсилювач DA, охоплений зворотним зв'язком, перетворює цей струм у напругу. При цьому вихідна напруга фотодетектора прямо пропорційна світловому потоку, який попадає на фоточутливий шар фотодетектора. Коли вода конденсується на холодній стороні пристрою Пельтьє, світловий потік, утворений інфрачервоним світлодіодом, розсіюється, що приводить до зменшення рівня фотосигналу.

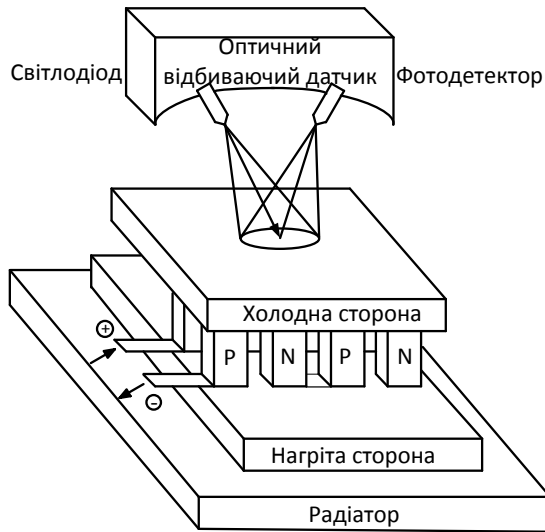


Рис. 3. Схема детектора точки роси

Поширеною проблемою для всіх промислових конденсаційних гігрометрів є вимірювання точки роси за вологою в присутності раніше сконденсованих домішок, наприклад, вуглеводнів. Як правило, автоматичні конденсаційні гігрометри в цих умовах вимірюють точку роси першої сконденсованої домішки досліджуваного газу. Вирішення цього завдання отримано шляхом використання ефекту повного заломлення [15], [21]. Цей ефект проявляється у разі падіння потоку вертикально поляризованих хвиль (випромінювання від напівпровідникового лазера) на межу поділу середовищ «конденсат—охолоджуване дзеркало» під кутом Брюстера, і полягає у відсутності відбитої хвилі.

Відповідно до законів фізичної оптики за певного кута падіння α , відбувається повна поляризація відбитої хвилі. Кут Брюстера α визначають за формулою

$$\operatorname{tg}(\alpha) = n_3/n_1,$$

де n_1 — показник заломлення газового середовища; n_3 — показник заломлення матеріалу дзеркала.

Таким чином, за освітлення діелектричного дзеркала поляризованим в площині падіння світлом і виконання умови Брюстера, відбита хвиля відсутня (рис. 5). При цьому система реєстрації фіксує нульовий рівень фотосигнала з фотоприймачів U_0 .

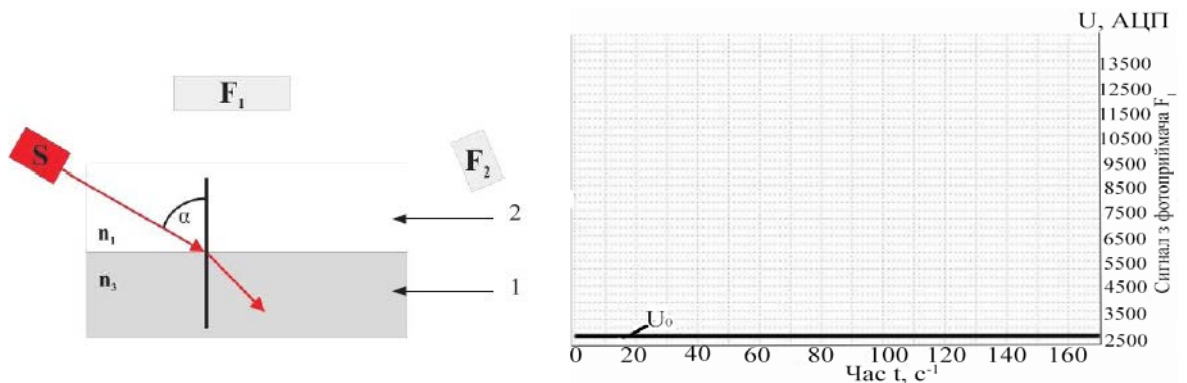


Рис. 5. Відсутність відбитої хвилі: α — кут Брюстера, 1 — діелектричне охолоджуване дзеркало, 2 — середовище, що досліджується (газ), S — лазерний діод, F1, F2 — фотоприймачі системи реєстрації, U_0 — нульовий сигнал фотоприймача

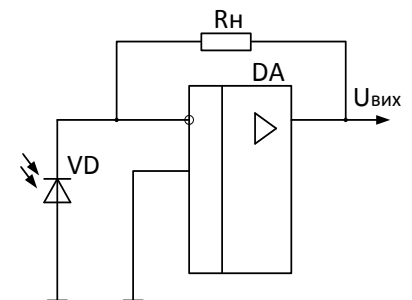


Рис. 4. Фотодетектор на основі пари фотодіод—операційний підсилювач

Для ідентифікації сконденсованих з газу води та/або вуглеводнів використовуються відмінності в відбиваючих властивостях конденсату, що утворюється на дзеркалі. При охолодженні дзеркала і появі на поверхні крапель конденсованої водяної пари відбувається інтенсивне розсіювання світла. Система реєстрації реагує на процес конденсації водяної пари зростанням рівня фотосигнала, що надходить з фотоприймача F1 (рис. 6). Рівень фотосигнала залежить від кількості води, сконденсованої на поверхні охолоджуваного дзеркала.

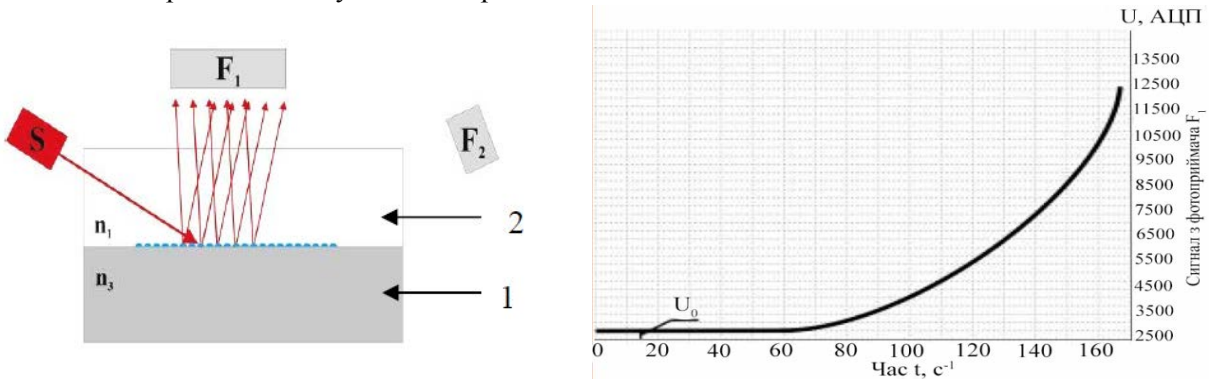


Рис. 6. Розсіювання світла при конденсації водяної пари на охолоджувану поверхню дзеркала

У разі утворення на дзеркалі тонкої плівки вуглеводнів 2, що має показник заломлення n_2 , відмінний від n_3 , закон Брюстера порушується і з'являється хвиля, відбита від межі поділу середовищ «газ—плівка». Крім того, через оптичну прозорість сконденсованої плівки з'являється друга відбита хвиля від межі поділу «плівка—дзеркало». В результаті фотоприймач F2 фіксує два відбитих променя, які утворюють інтерференційну картину (рис. 7).

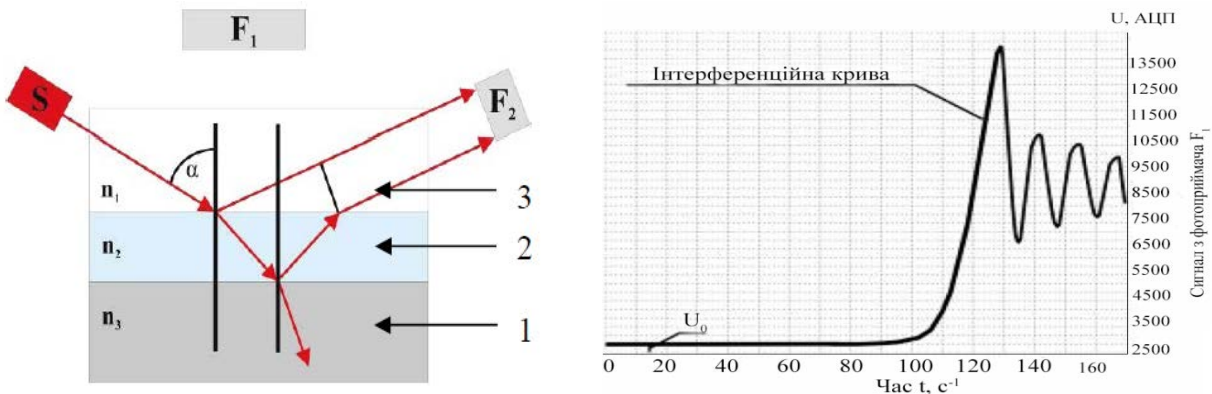


Рис. 7. Схема поширення світла за наявності на дзеркалі плівки конденсату 2 з показником заломлення n_2 : 1 — діелектричне охолоджуване дзеркало; 2 — плівка сконденсованого вуглеводню; 3 — середовище, що досліджується (газ)

Наявність в аналізаторі двох інформаційних каналів дозволяє не тільки одночасно визначати температури точок роси декількох домішок, що конденсуються з природного газу, а й вимірювати прямим інтерференційним методом товщину плівки конденсату на дзеркалі приладу, що розширює можливості практичного використання приладу [21].

Забезпечити підвищення точності вимірювання вологості в роботі [22] запропоновано за рахунок підвищення швидкості реагування системи реєстрації на випадіння конденсату, тобто отримавши різку зміну сигналу фотоприймача для зчитування показань сенсора температури. Це досягається з використанням багаторазового відбиття, оскільки за багаторазового відбиття промінь швидше загасатиме, а отже, швидше змінюватиметься світловий потік, що падає на фотоприймач. В роботі [23] запропоновано використати багаторазове відбиття в світловодній структурі, що дозволить отримати різку зміну сигналу фотоприймача для зчитування показань сенсора температури. На рис. 8 показано перетворювач точки роси на основі внутрішнього багаторазового відбиття з використанням плоского світловода, що складається з випромінювача, оптичної системи фокусування, чутливого елемента — світловода, багатоеlementного фотоприймального пристрою реєстрації та, відповідно, охолоджувача і сенсора температури [22].

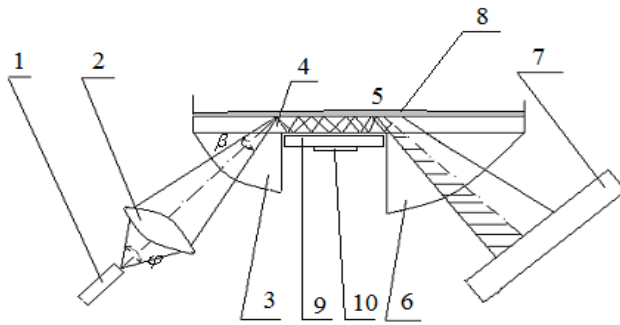


Рис. 8. Вимірювальний перетворювач: 1 — джерело випромінювання; 2 — система фокусування; 3 — пристрій введення; 4 — плоский світловод; 5 — контрольоване середовище; 6 — пристрій виведення; 7 — багатоелементний фото-приймальний пристрій; 8 — плівка конденсату; 9 — охолоджувач; 10 — сенсор температури

Зі зміною показника заломлення контрольованого середовища відбувається зміна коефіцієнта відбиття, і відповідно, вихідної потужності. Зі зміною кількості відбиттів за того самого вихідного значення показника заломлення середовища криві, які характеризують цей коефіцієнт, будуть переміщуватись по осі показника заломлення, маючи однакові значення у разі досягнення критичного кута для конкретного значення n_1 .

Крутизна кривих в області критичного кута зростає зі збільшенням кількості відбиттів. Чим більша різниця показників заломлення середовища і світловода, тим більша кількість відбиттів k . Оцінюючи зміну вихідної потужності в області критичного кута зі збільшен-

ням кількості відбиттів дійшли висновку, що збільшується глибина модуляції. Це дозволяє з високою точністю визначити значення самого критичного кута, а відповідно — показника заломлення контрольованого середовища і температури точки роси.

Незважаючи на широке використання, оптичні гігрометри точки роси мають кілька недоліків, включаючи високу вартість, часте забруднення дзеркала і нестійкість за безперервного використання. Гігрометри точки роси, засновані на прямих вимірюваннях маси конденсату, мають потенціал для забезпечення точнішого вимірювання точки роси з високою роздільною здатністю. Пристрої, що використовують поверхнево акустичні хвилі (ПАХв), застосовуються як високочутливі датчики газу [24]—[26]. Пристрої ПАХв значно підвищують точність вимірювання вологості через їх подвійну здатність виявляти конденсацію роси і з високою точністю вимірювати температуру. Експериментальний пристрій ПАХв охолоджують з використанням пристрою Пельтьє. Коли конденсація водяної пари з'являється на шляху поширення хвилі Релея, вона викликає істотне ослаблення амплітуди хвилі і зсув частоти асоційованого осцилятора (масове навантаження). На рис. 9 показана схема пристрою ПАХв на основі кварцової підкладки [24]. Використовуються LST-кварцові пластинки (Leaky Stable Temperature — нестабільної температури) через їх високу теплову чутливість та хорошу лінійність. Зустрічно гребінчасті перетворювачі мають фотолітографічну структуру на алюмінієвій плівці 1500 Å. Довжина хвилі становить 34,4 м і робоча частота — 98 МГц. Пристрої ПАХв розташовується в контурі генератора. Кварцову пластину охолоджують за допомогою пристрою Пельтьє, приєднаного до нижньої поверхні (рис. 10), для конденсації водяної пари на шляху поширення ПАХв. Гаряча сторона елемента Пельтьє охолоджується водою. При цьому, амплітуда мінімально залежить від температури і швидко зменшується, коли на кварцовій пластині конденсується достатня кількість водяної пари. Цей ефект залежить від співвідношення товщини конденсату та довжини акустичної хвилі. Вимірювання частоти використовується для виявлення випадання роси [24]. У порівнянні з оптичними датчиками точки роси точність приладів ПАХв була покращена приблизно в 500 разів. Нанесення тефлонової плівки на поверхню пристроїв ПАХв зменшує утворення забруднень і дозволяє точніше вимірювати точку роси з покращеним часом відгуку за дуже низької концентрації водяної пари [26].

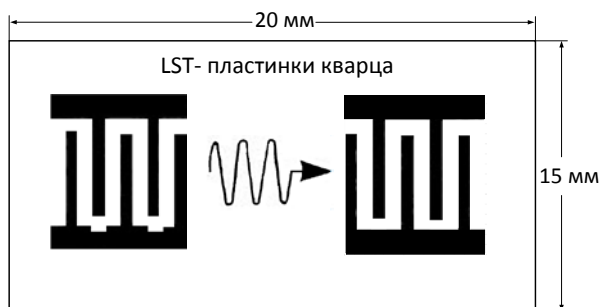


Рис. 9. Конфігурація лінії затримки експериментальної поверхні акустичної хвилі

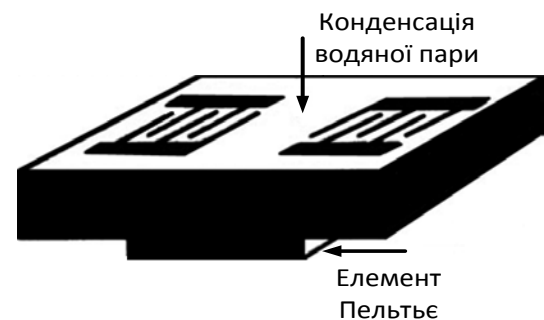


Рис. 10. Принцип дії датчика точки роси акустичної хвилі

Алгоритми функціонування автоматичних конденсаційних гігрометрів можна розділити на дві групи:

– алгоритм, який реалізує відносно швидке зниження температури дзеркала до утворення плівки конденсату з подальшим утриманням заданої товщини плівки конденсату (при цьому температура утримання плівки і є вимірюваною точкою роси газу);

– алгоритм, який реалізує повільне охолодження температури дзеркала із заданою швидкістю (не більше 1...2 °С/хв) з подальшою реєстрацією температури утворення плівки конденсату (при цьому температура утворення плівки і є точка роси газу).

До представників першої групи відносяться гігрометри: фірми «Michell» (моделі CONDUMAX, S4000, DEWMET), фірми «Marquis» (моделі GIGROMAT 1100-02). До другої — гігрометри фірми «Bovar» (модель 241) [10], [21], [25], [26].

Гігрометри точки роси Michell Instruments модифікацій «S4000», «Dewmet», «Cermaх», «Transmet», «Cermet II», «Easidew» (далі гігрометри) мають різні конструктивні виконання електронного та вимірювального блоків, датчика вологості і вимірювальної камери.

Вимірювальні блоки гігрометрів включають в себе датчики температури точки роси вологи і системи пробопідготовки аналізованого газу, що включають фільтри, вимірювальні камери, трубки і штуцери підключення до лінії аналізованого газу.

Основні технічні характеристики гігрометрів відомих виробників зведені в таблицю [10], [13], [17], [21].

Основні технічні характеристики гігрометрів

Характеристика	«S4000»	«Dewmet»	«Cermaх»	«Transmet»	«Cermet II»	«Easidew»	«КОНГ–Прима–10»
Діапазон вимірювання температури точки роси, °С	від –80 до +90	від –50 до +90	від –100 до +20	від –100 до +20	від –100 до +20	від –100 до +20	від –30 до +30
Межі допустимої абсолютної похибки, °С	± 0,2	± 0,2	± 1 (понад –60 до +20°С точки роси) ± 2 (від –100 до –60°С точки роси)	± 1 (понад –60 до +20°С точки роси) ± 2 (від –100 до –60°С точки роси)	± 1 (понад –60 до +20°С точки роси) ± 2 (від –100 до –60°С точки роси)	± 2	± 0,25; ± 1 – за вологою ± 1 – за вуглеводнями
Робочий діапазон температур досліджуваного газу, °С	від –20 до +40	від –20 до +40	від –20 до +40	від –20 до +40	від –20 до +40	від –20 до +50	від –20 до +50
Витрата досліджуваного газу, л/хв	від 0,3 до 0,7	від 0,3 до 0,7	від 0,5 до 20	від 0,5 до 20	від 0,5 до 20	від 0,5 до 20	від 1 до 2
Час встановлення показів температури точки роси за вологою, не більше	2 год	2 год	15 хв	15 хв	15 хв	15 хв	30 хв
Живлення гігрометра	220 В, 50 Гц	220 В, 50 Гц	6 В ак. батарея	10+ 28 В пост, струм	від 85 до 265 В, 50 Гц	6 В ак. батарея	220 В, 50 Гц
Споживча потужність, ВА	100	50	20	20	20	20	20
Вага, кг	15	3,2	3	0,7	1,5	2	6,5

Поширене використання приладів, які реалізують конденсаційний метод, свідчить про те, що цей метод є найпридатнішим для використання його в промислових умовах для визначення параметрів вологості та температури точки роси вуглеводнів у природному газі.

Висновки

Природний газ, як об'єкт досліджень, згідно з вимогами повинен контролюватись за двома температурами точки роси — точка роси за вологою і точка роси за вуглеводнями. Остання — це температура, за якої з газу починають конденсуватися рідкі вуглеводні. Оскільки спостерігається близькість двох температур точок роси, засоби вимірювання можуть давати невірні показання. Крім того, вуглеводні з великою ймовірністю сконденсуються за вищої температури, ніж вода. Звідси

постає задача однозначного визначення речовини, яка сконденсувала, тобто забезпечення не лише точності, але й вибірковості вимірювань, що впливає на вірогідність вимірювального контролю температури точки роси природного газу. Тому вимірювання та контроль температури точки роси за вологою та вуглеводнями природного газу є актуальною задачею як для сучасної науки, так і її різноманітних застосувань в народному господарстві.

Одним з найвисокоточніших із застосованих до природного газу методів є конденсаційний. Також застосування конденсаційного методу принципово дозволяє вимірювати температуру точки роси декількох компонентів природного газу (вологи, важких вуглеводнів) одночасно, і, крім того, визначати температуру початку утворення газових гідратів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

- [1] М. Мухитдинов, и Э. С. Мусаев, *Оптические методы и устройства контроля влажности*. М. : Энергоатомиздат, 1986, 96 с.
- [2] М. А. Берлинер, *Измерения влажности*. М. : Энергия, 1973, 400 с.
- [3] ГОСТ 5542-87 Газ горючий природный для промышленного и коммунально-бытового назначения. Технические условия. Госстандарт России (01.01.1988). М. : ИПК Издательство стандартов, 2000; 2004.
- [4] ДСТУ ISO 6327:2004 Аналіз газів. Визначення точки роси природних газів. Конденсаційні гігрометри з охолоджуваною поверхнею (ISO 6327:1981, IDT); EN ISO 6327 Gas analysis — Determination of the water dew point of natural gas - Cooled surface condensation hygrometers. Berlin: DIN, 1981.
- [5] ДСТУ ISO 10101-1:2007 Природний газ. Визначення вмісту води методом Карла Фішера. Частина 1. Вступ (ISO 10101-1:1993, IDT).
- [6] ДСТУ ISO 10101-2:2007 Природний газ. Визначення вмісту води методом Карла Фішера. Частина 2. Методика титрування (ISO 10101- 2:1993, IDT).
- [7] ДСТУ ISO 10101-3:2007 Природний газ. Визначення вмісту води методом Карла Фішера. Частина 3. Методика кулонометричного визначення (ISO 10101-3:1993, IDT).
- [8] О. І. Бакуменко, «Нові розробки у галузі визначення температури точки роси природного газу,» *Трубопровідний транспорт*, № 4 (94), с. 16-26. 2015.
- [9] І. Петришин, В. Соколовський, Н. Петришин, та І. Дарвай, «Аналіз показників якості природного газу, які впливають на процес горіння,» *Стандартизація Сертифікація Якість*, № 3, с. 51-56. 2012.
- [10] Moisture Measurement in Natural Gas Rolf Kolass. Michell Instruments GmbH, Friedrichsdorf, Germanu, Cris Parker, Michell Instruments Ltd, Cambridge, UK., 2016. [Online]. Available: <http://www.ebookpp.com/mo/mositure-doc.html>.
- [11] О. Л. Швейкін, О. О. Прокопенко, та А. В. Пономарьов, *Вимірювальна система для визначення показників якості природного газу*. Харків: УПА, 2013, 131 с.
- [12] В. С. Осадчук, О. В. Осадчук, та А. Ю. Савицький, *Радіовимірювальні перетворювачі вологості на основі МДН-структур*. Вінниця : ВНТУ, 2015, 159 с.
- [13] R. S. Jachowicz, and D. Zalewski, “Hygrometer with fibre optic dew point detector,” *Sens. Actuators A*, vol. 42, pp. 503-507, 1994.
- [14] С. В. Селезнев, «Разработка информационно-измерительной системы для оперативного контроля влажности природного газа.» дис. канд. техн. наук : 05.11.16, Саратов, 2006.
- [15] А. М. Деревягин, С. В. Селезнев, и А. Р. Степанов, «Анализатор точки росы по влаге и углеводородам «КОНГ-Прима-4»,» *Наука и техника в газовой промышленности*, № 1, с. 15-22, 2002.
- [16] Zhi Chen, and Chi Lu, “Humidity sensors: a review of materials and mechanisms,” *Sensor Lett.*, vol. 3, no. 4, 2005. doi:10.1166/sl.2005.045.
- [17] M. Kunze, J. Merz, W-J. Hummel, H. Glosch, S. Messner, and R. Zengerle, “A micro dew point sensor with a thermal detection principle,” *Measurement science and technology*, vol. 23, pp. 1-10. 2012. <http://doi.org/10.1088/0957-0233/23/1/014004>.
- [18] M. Kimura, “A new method to measure the absolute — humidity independently of the ambient temperature,” *Sens. Actuators B*, vol. 33, pp. 156-160, 1996.
- [19] B. Sorli, F. Pascal-Delannoy, A. Giani, A. Foucaran, and A. Boyer, “Fast humidity sensor for high range 80—95 % RH,” *Sens. Actuators A: Physical*, vol. 100, pp. 24-31, 2002.
- [20] П. І. Кулаков, та Т. В. Гнесь, «Математична модель оптичного датчика наявності води у молоці,» *Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології*, № 1, с. 121-126, 2012.
- [21] А. М. Деревягин и др., «КОНГ-Прима-10» — интерференционный анализатор точки росы и газа по влаге и углеводородам,» *Наука и техника в газовой промышленности*, № 1, с. 70-78, 2005.
- [22] Y. Y. Bilynsky, “The control of natural gas dew point temperatures by water and hydrocarbons : Modern scientific research and their practical application,” *SWorld*, November, Issue № 5, pp. 199-203. 2013 [Online]. Available: <http://www.sworld.com.ua/index.php/en/e-journal/the-content-of-journal/j213/20948-j21310>.
- [23] Й. Й. Білінський, та К. Ю. Іоніна, «Світловодний вимірювач вологості газу,» *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. № 6. с. 142-145. 2012.
- [24] J. Weremczuk, “Dew/Frost Point Recognition With Impedance Matrix of Fingerprint Sensor,” *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol. 57, issue 8, pp. 1791-1795. 2008.
- [25] *How to choose the right instrument for measuring humidity and dew point*. Vaisala, 2016. [Online]. Available: <https://www.vaisala.com/en/media/3026>.

[26] J. Gronblad, "New DMT242 dewpoint transmitter for low dewpoint OEM measurements," *Vaisala News*, vol. 154, pp. 4-5, 2000.

Рекомендована кафедрою електроніки та наносистем ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 7. 05.2018

Білинський Йосип Йосипович — д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри електроніки та наносистем; e-mail: yosyp.bilynsky@gmail.com ;

Городецька Оксана Степанівна — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри телекомунікаційних систем і телебачення, e-mail: horodecka.os@gmail.com ;

Новицький Дмитро Володимирович — аспірант кафедри електроніки та наносистем.

Вінницький національний технічний університет

Yo. Yo. Bilynskiy¹
O. S. Horodetska¹
D. V. Novytskyi¹

Review of Methods and Devices for Determining the Dew Point Temperature for Humidity and Hydrocarbons

¹Vinnitsia National Technical University

Based on the results of the analysis of the state of ensuring the determination of the humidity parameters of natural gas, it has been established that in gas industry, the humidity dew point temperature has been used, more often than the humidity index, the temperature of the beginning of the condensation (crystallization) of the humidity vapor that is present in the gas composition at a certain pressure. Regulatory documents, in most cases, regulate exactly the temperature of the dew point of humidity, taking into consideration their greatest informativeness. The review of the main methods for determining the temperature of the dew point by humidity and hydrocarbons has been carried out, their classification has been given, according to which the following methods for determining the temperature of the dew point have been identified: physical, chemical, physico-chemical, evaporative-psychrometric, sorption, condensation. The main drawbacks of the methods have been determined; the main problems of measuring the temperature control of the dew point have been analyzed. Taking into account long-term experience of using measuring equipment in production conditions, the condensation method has been determined to be the most suitable for use.

The devices for measuring the humidity of natural gas by the temperature of the dew point have been analyzed, the physics of the transformation process, the features of the measurement have been considered. The currently existing methods for determining the parameters of the humidity content of natural gas as the main indicator of its quality and the state of their implementation in technical facilities do not provide the required accuracy when performing measurements in the automatic mode due to the influence on the measurement results of impurities of various nature included in the composition of natural gas. In addition, the fault is the difficulty of detecting two temperatures of dew points simultaneously. These flaws require further improvement of methods and devices for determining the dew point temperature for humidity and hydrocarbons.

Keywords: methods for determining temperature of dew point on humidity and hydrocarbons, natural gas, condensing methods, hygrometer.

Bilynskiy Yosyp Yo. — Dr. Sc. (Eng.), Professor, Head of the Chair of Electronics and Nanosystems; e-mail: yosyp.bilynsky@gmail.com ;

Horodetska Oksana S. — Cand. Sc. (Eng.), Assistant Professor, Assistant Professor of the Chair of Telecommunication Systems and Television, e-mail: horodecka.os@gmail.com ;

Novytskyi Dmytro V. — Post-Graduate Student of the Chair of Electronics and Nanosystems

И. И. Билинский¹
О. С. Городецкая¹
Д. В. Новицкий¹

Анализ методов и средств определения температуры точки росы по влажности и углеводородам

¹Винницкий национальный технический университет

По результатам проведенного анализа состояния обеспечения определения параметров влажности природного газа установлено, что в газопромышленной практике, чаще, чем показатель влажности, используют значение температуры точки росы влаги — температуры начала конденсации (кристаллизации) пары влаги, которая присутствует в составе газа при определенном давлении. Нормативными документами, в большинстве, регламентируются именно значения температуры точки росы влаги, учитывая их наибольшую информативность. Проведен обзор основных методов определения температуры точки росы по влажности и углеводородам, приведена их классификация, согласно которой выделены следующие методы определения температуры точки росы: физические, химические, физико-химические, испарительно-психрометрические, сорбционные, конденсационные. Определены основные недостатки методов, проанализированы основные проблемы измерительного контроля температуры точки росы. Учитывая многолетний опыт применения измерительного оборудования в условиях производства, определено, что конденсационный метод является наиболее приемлемым для применения.

Проанализированы средства измерительного контроля влажности природного газа по температуре точки росы, рассмотрена физика процесса преобразования и особенности измерения. Существующие в настоящее время методы определения параметров влажности природного газа, как основного показателя его качества, и состояние их реализации в технических средствах не обеспечивают требуемой точности при проведении измерений в автоматическом режиме вследствие влияния на результаты измерений примесей различной природы, входящих в состав природного газа. Кроме того, возникает сложность детектирования двух температур точек росы одновременно. Эти недостатки требуют дальнейшего совершенствования методов и средств определения температуры точки росы по влажности и углеводородам.

Ключевые слова: методы определения температуры точки росы по влажности и углеводородам, природный газ, конденсационные методы, гигрометр.

Билинский Иосиф Иосифович — д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой электроники и наносистем; e-mail: yosyp.bilynsky@gmail.com ;

Городецкая Оксана Степановна — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры телекоммуникационных систем и телевидения, e-mail: horodecka.os@gmail.com ;

Новицкий Дмитрий Владимирович — аспирант кафедры электроники и наносистем