

УДК 543.275.1

DOI: 10.15587/2312-8372.2020.200476

РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ЗАСОБУ ВИМІРЮВАЛЬНОГО КОНТРОЛЮ ВОЛОГОСТІ ПРИРОДНОГО ГАЗУ

Білинський Й. Й., Городецька О. С., Новицький Д. В., Войцеховська О. В.

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СРЕДСТВА ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КОНТРОЛЯ ВЛАЖНОСТИ ПРИРОДНОГО ГАЗА

Билинский Й. Й., Городецкая О. С., Новицкий Д. В., Войцеховская Е. В.

DEVELOPMENT OF A MATHEMATICAL MODEL OF MEASURING CONTROL DEVICE OF NATURAL GAS HUMIDITY

Bilynsky Y., Horodetska O., Novytskyi D., Voytsekhovska O.

Об'єктом дослідження є вимірювальний контроль вологості природного газу. Існує багато методів і засобів визначення вологості, які використовуються в лабораторних вимірюваннях при нормальних умовах. Однак на практиці потрібно вимірювати вологість в широкому діапазоні зміни тиску та температури, а також при високому та середньому тиску в газопроводі. Таке використання потребує розробки сенсорів, які є надійними, стабільними та стійкими до забруднень і високих тисків. Завдяки своїй простій, надійній конструкції та доволі високій точності вимірювання вологоміри, що базуються на використанні надвисокочастотного методу, набули широкого використання.

На основі проведених досліджень запропоновано засіб вимірювального контролю вологості природного газу на основі надвисокочастотного методу вимірювання вологості, в якому, на відміну від відомих, запропоновано використання біжучої хвилі у хвилеводі. При цьому оцінюються зміни діелектричних властивостей газів при їх взаємодії з хвилями надвисокочастотного діапазону. Проведено дослідження, які показали, що наявність порівняльного каналу дозволило підвищити точність вимірювання, оскільки двоканальна система, на відміну від одноканальної, нівелює нестабільність значення вхідного сигналу, що подається генератором.

Описано принцип роботи засобу вимірювального контролю вологості природного газу, який містить надвисокочастотний генератор, атенюатори, хвилеводні трійники, хвилеводну секцію порівняння, датчик температури та тиску, комутатори порівняльного та вимірювального каналів, вимірювальну кювету, підсилювач, мікропроцесор, індикаторний пристрій.

Розроблено математичну модель засобу вимірювального контролю вологості природного газу, яка враховує значення діелектричної проникності газу вимірювального та опорного каналів та містить коефіцієнти корегування за температурою, використання яких дозволяє підвищити точність вимірювання вологості.

Результати досліджень дають можливість стверджувати про перспективність для практичного застосування вимірювачів вологості природного газу засобів, оснований на надвисокочастотному методі біжучої хвилі.

Ключові слова: надвисокочастотний метод, біжуча хвиля, математична модель, засіб вимірювального контролю вологості природного газу.

Объектом исследования является измерительный контроль влажности природного газа. Существует много методов и средств определения влажности, которые используются в лабораторных измерениях при нормальных условиях. Однако на практике нужно измерять влажность в широком диапазоне изменения давления и температуры, а также при высоком и среднем давлении в газопроводе. Такое использование требует разработки сенсоров, которые являются надежными, стабильными и устойчивыми к загрязнениям и высоким давлениям. Благодаря своей простой, надежной конструкции и довольно высокой точности измерения влагомеры, основанные на использовании сверхвысокочастотного метода, получили широкое использование.

На основании проведенных исследований предложено средство измерительного контроля влажности природного газа на основе сверхвысокочастотного метода измерения влажности, в котором, в отличие от известных, предложено использование бегущей волны в волноводе. При этом оцениваются изменения диэлектрических свойств газов при их взаимодействии с волнами сверхвысокочастотного диапазона. Проведены исследования, которые показали, что наличие сравнительного канала позволило повысить точность измерения, поскольку двухканальная система, в отличие от одноканальной, нивелирует нестабильность значения входного сигнала, подаваемого генератором.

Описано принцип работы средства измерительного контроля влажности природного газа, который содержит сверхвысокочастотный генератор, аттенюаторы, волноводные тройники, волноводную секцию сравнения, датчик температуры и давления, коммутаторы сравнительного и измерительного каналов, измерительную кювету, усилитель, процессор, индикатор.

Разработана математическая модель средства измерительного контроля влажности природного газа, которая учитывает значение диэлектрической проницаемости газа измерительного и опорного каналов и содержит коэффициенты корректировки по температуре, использование которых позволяет повысить точность измерения влажности.

Результаты исследований позволяют утверждать о перспективности для практического применения измерения влажности природного газа средств, основанных на сверхвысокочастотном методе бегущей волны.

Ключевые слова: сверхвысокочастотный метод, бегущая волна, математическая модель, средство измерительного контроля влажности природного газа.

1. Вступ

Вимірювання та контроль параметрів якості газів є актуальною задачею як сучасної науки, так і її різноманітних застосувань в народному господарстві.

Показники якості сильно впливають на вартість продуктів. Вологість є одним з основних параметрів при видобутку, транспортуванні й переробці природного (або попутного нафтового) газу [1, 2]. На сьогодні існує велика кількість різноманітних засобів контролю вологості газів, які мають ряд недоліків, а саме низьку точність, чутливість та швидкодію у всьому діапазоні вимірювань [3, 4]. Чимало методів вже позбавлені можливості підвищення точності. Тому постає задача застосування нових підходів для суттєвого вдосконалення вимірювачів параметрів якості, направлених на підвищення їх стабільності, точності, чутливості. На сьогоднішній день широкого використання набули методи, що використовують надвисокочастотний (НВЧ) діапазон, завдяки своїй простій, надійній конструкції та доволі високій точності вимірювання. Отже, *об'єктом дослідження* є вимірювальний контроль вологості природного газу. *Метою роботи* є підвищення точності засобу вимірювального контролю вологості природного газу та розробка його математичної моделі.

2. Методи досліджень

В роботі [5] обґрунтовано вибір надвисокочастотного методу вимірювання вологості природного газу, в якому на відміну від відомих, запропоновано використання біжучої хвилі у хвилеводі. При цьому оцінюються зміни діелектричних властивостей газів при їх взаємодії з хвилями НВЧ діапазону.

Суть НВЧ вимірювального перетворення вологості природного газу полягає у поглинанні НВЧ сигналу, а отже вимірюванні потужності даного сигналу на виході хвилеводу при зміні вологості газу шляхом використання біжучої хвилі. Авторами запропоновано математичну модель такого НВЧ вимірювального перетворення вологості природного газу [5]. Проведені дослідження залежності потужності біжучої хвилі від абсолютної вологості водяної пари при різних значеннях довжини проходження НВЧ сигналу у вологому середовищі з урахуванням температури та тиску. Встановлено, що із зростанням абсолютної вологості водяної пари потужність випромінювання спадає за експоненціальним законом.

3. Результати досліджень та обговорення

3.1. Структурна схема засобу вимірювального контролю вологості природного газу

Проведені дослідження дозволили розробити засіб вимірювального контролю вологості природного газу (ЗВКВПГ) на основі НВЧ методу біжучої хвилі, структурна схема якого наведена на рис. 1. ЗВКВПГ є двоканальним і складається з вимірювального каналу та каналу порівняння.

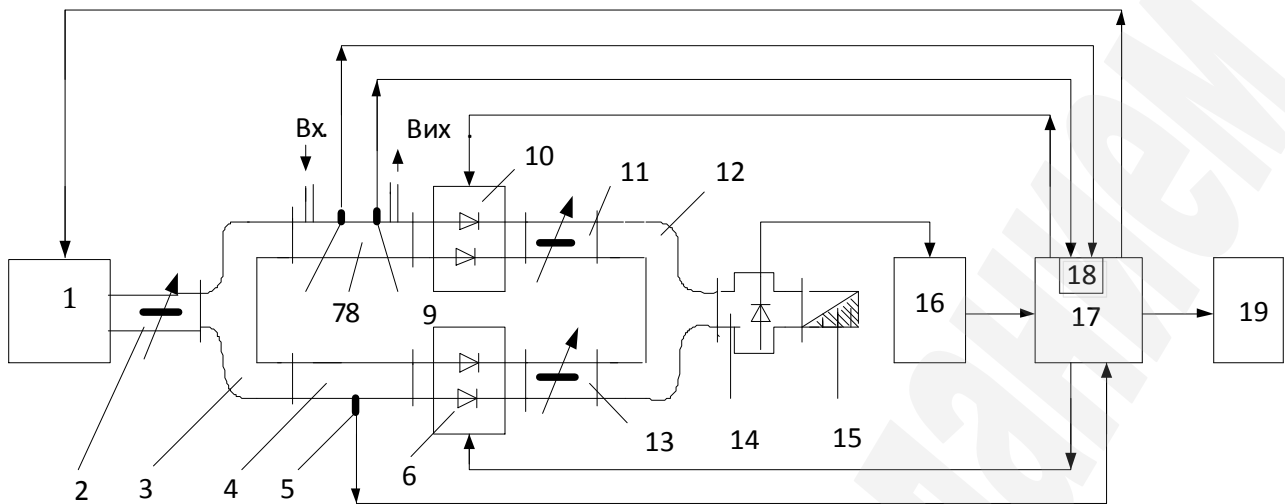


Рис. 1. Структурна схема засобу вимірювального контролю вологості природного газу

ЗВКВПГ складається із [5]:

- НВЧ генератор 1;
- атенюатор 2;
- хвилеводний трійник 3;
- хвилеводну секцію порівняння (порівняльну кювету) 4;
- датчик температури 5;
- комутатор порівняльного каналу 6;
- датчик тиску вимірювальної хвилеводної секції 7;
- хвилеводну вимірювальну секцію (вимірювальну кювету) 8;
- датчик температури 9;
- комутатор вимірювального каналу 10;
- атенюатори вимірювального каналу і каналу порівняння 11 і 13, відповідно;
- хвилеводний трійник 12;
- діодну секцію 14;
- узгоджене навантаження 15;
- підсилювач 16;
- мікропроцесор 17;
- аналого-цифровий перетворювач (АЦП) 18;
- індикаторний пристрій 19.

НВЧ генератор 1 ЗВКВПГ, зібраний на PIN-діоді (різновид діоду, в якому між областями електронної (n) і діркової (p) провідності знаходиться власний напівпровідник (i-область)), налаштовується на частоту 10 ГГц за допомогою стабілізованої напруги корегування, яка надходить від мікропроцесора 17. Позначимо потужність високочастотної електромагнітної хвилі (ВЕХ), що виходить від генератора 1 через P_0 . Атенюатор 2 послаблює прохідну ВЕХ на величину K_1 . Хвилеводний трійник 3 розділяє ВЕХ на два канали: вимірювальний канал і канал порівняння. Потужність P_1 ВЕХ ділиться трійником 3 на два канали порівну. Позначимо потужність ВЕХ вимірювального каналу через $P_в$, а потужність ВЕХ порівняльного каналу через $P_п$. Отже,

$$P_B = P_n = \frac{P_1}{2} = \frac{1}{2} K_1 \cdot P_0. \quad (1)$$

Крім того, при проходженні ВЕХ по хвильоводних секціях трійника відбувається ослаблення потужності за рахунок втрат на хвильоводних переходах, пов'язаних з матеріалом хвильоводу, його конструктивними особливостями та технологіями виготовлення.

3.2. Дослідження каналу порівняння

У каналі порівняння розташовується хвильоводна секція порівняння 4 (кювета порівняння), яка наповнена сухим повітрям при тиску 1 атм і температурі 20 °С. При цих параметрах кювета порівняння 4 герметично закривається.

При проходженні ВЕХ по хвильоводній секції кювети порівняння потужність її послаблюється через втрати на самій хвильоводній секції кювети порівняння та втрати, пов'язані з проходженням ВЕХ через шар сухого повітря, що знаходиться в кюветі порівняння.

У вимірювальному перетворенні вологості, яке базується на використанні хвильоводного НВЧ методу біжучої хвилі, здійснюється вимірювання ослаблення, яке відбувається при проходженні ВЕХ через газове середовище в залежності від його діелектричної проникності згідно [5, 6] $K_4 = e^{-aL}$, тоді потужність ВЕХ на виході кювети порівняння:

$$P_2 = K_3 \cdot K_4 \cdot P_n = \frac{1}{2} K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot P_0 \cdot e^{-aL}, \quad (2)$$

де K_2 – коефіцієнт втрат, пов'язаний з проходженням хвильоводної секції хвильоводного трійника; K_3 – коефіцієнт втрат, пов'язаний з проходженням ВЕХ через хвильоводну секцію кювети порівняння 4 в стані вакууму; a – коефіцієнт послаблення сухого повітря; L – довжина кювети порівняння.

За сигналом мікропроцесора 17 хвильовий комутатор 6 відкривається і ВЕХ проходить на вхід аттенюатора 13. При проходженні ВЕХ через хвильоводну секцію комутатора 6 її потужність P_2 послаблюється на величину K_5 , при проходженні через хвильоводну аттенюаторну секцію 13 – на величину K_6 . Аналогічно позначимо коефіцієнт втрат при проходженні ВЕХ через відгалуження хвильоводного трійника 12 через K_7 .

Діод в хвильоводній секції 14 перетворює енергію змінної ВЕХ в постійний струм I_D , величина якого пропорційна потужності сигналу, що надходить на вхід хвильової діодної секції 14. Позначимо коефіцієнт перетворення діодної секції K_8 . Тоді $I_A = K_8 \cdot P_5$. Струм I_D надходить на підсилювач 16, на вході якого стоїть опір R – узгоджене навантаження 15. Опір R перетворює струм діода I_D в напругу U , яка посилюється підсилювачем 16. Коефіцієнт перетворення струму діода I_D в напругу U і коефіцієнт перетворення підсилювача 16 позначимо, як K_9 і K_{10} , відповідно. Тоді напруга U_n каналу порівняння на виході підсилювача 16 дорівнюватиме:

$$U_n = K_9 \cdot K_{10} \cdot I_{Д} = \frac{1}{2} K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_5 \cdot K_6 \cdot K_7 \cdot K_8 \cdot K_9 \cdot K_{10} \cdot P_0 \cdot e^{-a \cdot L}. \quad (3)$$

Сигнал U_n запам'ятовується мікропроцесором 17.

3.3. Аналіз коефіцієнта ослаблення a

У зв'язку з тим, що при проходженні ВЕХ через шар досліджуваного газу її ослаблення a напряму залежить від властивостей діелектричної проникності газу, то необхідно розглянути вплив діелектричної проникності на роботу ЗВКВПГ. Діелектрична проникність газів залежить від температури. В [7] наводиться формула для корегування діелектричної проникності в залежності від зміни тиску p і температури T (в градусах шкали Кельвіна) досліджуваного середовища. Діелектрична проникність сухого повітря становить $\epsilon' - 1 = 0,00058$, а $\epsilon'' - 1 = 0,000058$ [8]. Коефіцієнт ослаблення згідно з [6]:

$$a = \frac{2\pi \cdot K_c}{\lambda} = K_c \cdot Z, \quad (4)$$

де K_c – показник послаблення сухого повітря, $K_c = f(\epsilon_c)$ [9]; λ – довжина хвилі, яку випромінює НВЧ генератор 1, $\lambda = 0,03$ м; $Z = \frac{2\pi \cdot L}{\lambda}$.

Показник ослаблення K_c сухого повітря буде змінюватися в залежності від температури в кюветі порівняння 4:

$$K_{ct} = K_c - K_{t1} \cdot t, \quad (5)$$

де K_{ct} – температурний показник ослаблення сухого повітря (враховує відхилення температури газу в кюветі порівняння 4 відмінне від 0 °С); K_{t1} – температурний поправочний коефіцієнт, для сухого повітря $K_{t1} = 0,00000215$ [9]; t – температура сухого повітря в кюветі порівняння (в градусах Цельсія).

Відповідно (3) набуде вигляду:

$$U_n = \frac{1}{2} K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_5 \cdot K_6 \cdot K_7 \cdot K_8 \cdot K_9 \cdot K_{10} \cdot P_0 \cdot e^{-(K_c - K_{t1} \cdot t) \cdot Z}. \quad (6)$$

3.4. Дослідження вимірювального каналу

Розглянемо роботу вимірювального каналу ЗВКВПГ в разі наповнення вимірювальної кювети 8 повітряною сумішшю (далі повітрям), яка відповідає густині та діелектричній проникності природного газу, при тиску 1 атм [10]. При цьому температура сухого повітря в порівняльній кюветі 4 і температура контрольованого повітря у вимірювальній кюветі 8 будуть рівними.

Повітря в приміщенні в основному складається з суми показників ослаблення сухого повітря та водяної пари. Отже, показник ослаблення контрольованого повітря $K_x = K_c + K_w$, де K_w – показник ослаблення парів води, який дорівнює:

$$K_w = \sqrt{\frac{1}{2} \cdot \frac{p \cdot 273,15}{760 \cdot T} \cdot \frac{\rho_{vn}}{\rho_v} \cdot \left(\sqrt{(\varepsilon_1' - 1)^2 + (\varepsilon_1'' - 1)^2} - (\varepsilon_1'' - 1) \right)}, \quad (7)$$

де $\rho_{v.n}$ – абсолютна вологість водяної пари; ρ_v – густина води.

Діелектрична проникність парів води при температурі 20 °С становить $\varepsilon_1' - 1 = 0,0000619$, а $\varepsilon_1'' - 1 = 0,0000314$ [9]. Вона також залежить від температури.

Аналогічно до (5) та відповідно до [7] зробимо корегування діелектричної проникності водяної пари в залежності від температури контрольованого повітря всередині вимірювальної кювети 8. Показник ослаблення сухого повітря з урахуванням корегування за температурою відомий та дорівнює K_{ct} . Отже, показник ослаблення контрольованого повітря з урахуванням корегування за температурою K_{tk} буде:

$$K_{tk} = (K_w - K_{t2} \cdot t) + (K_c - K_{t1} \cdot t), \quad (8)$$

де K_{t2} – температурний поправочний коефіцієнт, для парів води $K_{t2} = 0,0000036825$; t – числовий показник температури у вимірювальній кюветі (в градусах Цельсія).

Тоді за аналогією з роботою каналу порівняння 4 за умови рівності конструктивних і технологічних параметрів кювети порівняння 4 і вимірювальної кювети 8, хвилеводних комутаторів 6 і 10, аттенюаторів 11 і 13, маємо:

$$U_B = \frac{1}{2} K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_5 \cdot K_6 \cdot K_7 \cdot K_8 \cdot K_9 \cdot K_{10} \cdot P_0 \cdot e^{-K_{tk} \cdot Z}. \quad (9)$$

Сигнал U_B теж запам'ятовується мікропроцесором 17.

3.5. Математична модель засобу

Коли пройшов процес запам'ятовування сигналів U_B і U_n мікропроцесор 17 здійснює операцію ділення цих сигналів. Частка від ділення сигналів U_B і U_n з урахуванням коефіцієнта перетворення K_{11} запам'ятовується мікропроцесором 17, після чого він здійснює операцію логарифмування. Напруга U_n та U_B надходить на аналоговий вхід мікропроцесора 17, де перетворюється АЦП 18 з коефіцієнтом перетворення K_{12} в цифровий сигнал N . Тоді математичну модель засобу можна записати у вигляді:

$$\left\{ \begin{array}{l} \ln\left(\frac{U_n}{U_B}\right) = \left(\ln K_{11} + \frac{2\pi \cdot L}{\lambda} \cdot (K_w - K_{t2} \cdot t) \right) \cdot K_r, \\ N_1 = \frac{K_{12} \cdot U_B}{U_{он}} \cdot (2^{n_0} - 1), \\ N_2 = \frac{K_{12} \cdot U_n}{U_{он}} \cdot (2^{n_0} - 1), \end{array} \right. \quad (10)$$

де N_1 – двійкове значення коду n -розрядного АЦП, що оцифровує напругу U_B вимірювального каналу; N_2 – двійкове значення коду n -розрядного АЦП, що оцифровує напругу U_n порівняльного каналу; K_2 – коефіцієнт перетворення, пов'язаний з градуванням ЗВКВПГ.

Проведено дослідження ЗВКВПГ. Природний газ складається на 98÷99 % з метану [11, 12]. Діелектрична проникність сухого метану дорівнює $\varepsilon_m' = 1,000953$ при 0 °С [7]. У кювету порівняння 4 закачане сухе повітря. Діелектрична проникність сухого повітря дорівнює $\varepsilon_c' = 1,0006258$ при 0 °С [7]. Встановлено, що відносна похибка Δt при відсутності корегування за температурою та при зміні температури повітря відносно 0 °С на +1 °С і –1 °С призводить до похибки $\pm 0,18$ %. Також були розраховані значення коефіцієнтів корегування та відносної похибки при їх застосуванні. Встановлено, що зміна температури газу відносно 0 °С на +1 °С і –1 °С призводить до похибки 0,001 % і 0,000625 %, відповідно.

4. Висновки

Запропоновано засіб вимірювального контролю вологості природного газу, принцип роботи якого базується на НВЧ методі вимірювання вологості природного газу, в якому, на відміну від відомих, запропоновано використання біжучої хвилі у хвилеводі. При цьому оцінюються зміни діелектричних властивостей газів при їх взаємодії з хвилями НВЧ діапазону.

Розроблено математичну модель запропонованого засобу вимірювального контролю вологості природного газу, яка враховує значення діелектричної проникності газу вимірювального та каналу порівняння, та містить коефіцієнти корегування за температурою, використання яких дозволяє підвищити точність вимірювання вологості.

Проведено дослідження вимірювального каналу, каналу порівняння, коефіцієнта ослаблення, на основі якого здійснено корегування вимірювання вологості за температурою. Проаналізовано вплив коефіцієнтів корегування за температурою на похибку вимірювання вологості. На основі аналізу можна зробити висновок, що використання даних коефіцієнтів дозволяє з високою точністю компенсувати різницю діелектричної проникності сухого метану та сухого повітря. Похибка при цьому при зміні температури від 0 °С до 10 °С не перевищує 0,01 %.

References

1. Korotcenkov, G. (2018) *Handbook of Humidity Measurement, Volume 1: Spectroscopic Methods of Humidity Measurement*. CRC Press Published, 372. doi: <http://doi.org/10.1201/b22369>
2. Krause, K. M., van Popta, A., Steele, J. J., Sit, J. C., Brett, M. J. (2007). Microstructured humidity sensors fabricated by glancing angle deposition: characterization and performance evaluation. *Device and Process Technologies for Microelectronics, MEMS, Photonics, and Nanotechnology IV*. doi: <http://doi.org/10.1117/12.759533>
3. Wang, J., Zhang, H., Cao, Z., Zhang, X., Yin, C., Li, K. et. al. (2016). Humidity sensor base on the ZnO nanorods and fiber modal interferometer. *8th International Symposium on Advanced Optical Manufacturing and Testing Technologies: Design, Manufacturing, and Testing of Micro- and Nano-Optical Devices and Systems; and Smart Structures and Materials*. doi: <http://doi.org/10.1117/12.2244482>
4. Luo, S., Yang, L., Liu, J. (2020). Statistical characteristics analysis of global specific humidity vertical profile. *2019 International Conference on Optical Instruments and Technology: Optoelectronic Measurement Technology and Systems*. doi: <http://doi.org/10.1117/12.2544132>
5. Bilynsky, Y. Y., Horodetska, O. S., Novytskyi, D. V. (2019). Development of Mathematical Model of Two-channel Microwave Measuring Converter of the Humidity of Natural Gas. *Visnyk of Vinnytsia Politechnical Institute, 145 (4)*, 19–24. doi: <http://doi.org/10.31649/1997-9266-2019-145-4-19-24>
6. Bilenko, D. I. (1999) *Kompleksnaia dielektricheskaia pronitsaemost. Plazmennyi rezonans svobodnykh nositelei zariada v poluprovodnikakh*. Izd-vo Sarat. uni-ta, 44.
7. Brandt, A. A. (1963). *Issledovanie dielektrikov na sverkhvysokikh chastotakh*. Moscow: Fizmatgiz, 404.
8. Iakovlev, K. P.; Iakovlev, K. P. (Ed.) (1960). *Kratkii fiziko-tekhnicheskii spravochnik*. Moscow: Fizmatgiz, 446.
9. Bilynsky, Y. Y., Horodetska, O. S., Novytskyi, D. V. (2019). Development of a mathematical model of the waveguide microwave measuring conversion the humidity of natural gas. *Visnyk KhNU. Tekhnichni nauky, 3*, 131–137.
10. Zyska, T., Bilinsky, Y., Saldan, Y., Ogorodnik, K., Lazarev, A., Horodetska, O., Mussabekova, A. (2018). New ultrasound approaches to measuring material parameters. *Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments 2018*. doi: <http://doi.org/10.1117/12.2501637>
11. Chen, Z., Lu, C. (2005). Humidity Sensors: A Review of Materials and Mechanisms. *Sensor Letters, 3 (4)*, 274–295. doi: <http://doi.org/10.1166/sl.2005.045>

The object of research is the measuring control of the humidity of natural gas. There are many methods and devises of determining humidity that are used in laboratory measurements under normal conditions. However, in practice, it is necessary to measure humidity over a wide range of pressure and temperature, as well as at high and medium

pressure in the gas pipeline. Such use requires the development of sensors that are reliable, stable and resistant to contamination and high pressures. Due to their simple, reliable design and rather high accuracy of measurement, humidity meters based on the use of the microwave method have been widely used.

Based on the studies, a device for measuring the humidity of natural gas is proposed on the basis of a microwave method for measuring humidity, in which, unlike the known methods, the use of a traveling wave in a waveguide is proposed. And changes in the dielectric properties of gases during their interaction with microwave waves are estimated. Studies have been carried out that showed that the presence of a comparative channel made it possible to increase the measurement accuracy, since a two-channel system, unlike a single-channel system, eliminates the instability of the value of the input signal supplied by the generator.

The principle of operation of measuring control device of natural gas humidity is described, which contains a microwave generator, attenuators, waveguide tees, a waveguide comparison section, a temperature and pressure sensor, switches for comparative and measuring channels, a measuring cell, amplifier, processor, indicator.

A mathematical model of the measuring control device of natural gas humidity has been developed, which takes into account the value of the dielectric constant of the gas of the measuring and reference channels, and contains temperature correction coefficients, the use of which allows to increase the accuracy of humidity measurement.

The research results allow to argue about the prospects for the practical application of measuring the natural gas humidity based on the microwave traveling wave method.

Keywords: *microwave method, traveling wave, mathematical model, measuring control device of natural gas humidity.*