

Analiza błędów metody pomiarowej do wyznaczania ciepła spalania gazu ziemnego

Orest Serediuk, Nataliya Malisevych

Iwano-Frankiwski Narodowy Uniwersytet Techniczny Nafty i Gazu, Ukraina

Mariusz R. Rząsa

Politechnika Opolska, Wydział Mechaniczny, Katedra Techniki Ciepłej i Aparatury Przemysłowej, ul. S. Mikołajczyka 5, 45-271 Opole

Streszczenie: W pracy opisano autorską metodę do określania ciepła spalania gazu ziemnego. Porównano ją z innymi aktualnie stosowanymi metodami. W opisie zwrócono uwagę na normy z zakresu jakości gazu ziemnego, jakie obowiązują w Europie i na Ukrainie. Na tej podstawie opracowano i opisano budowę przyrządu pomiarowego do określania ciepła spalania gazu ziemnego w miejscu odbioru konsumenckiego. Przyrząd ten wykonuje pomiar w stosunkowo krótkim czasie, co umożliwia monitorowanie ciepła spalania gazu w trybie on-line. Głównym tematem pracy jest analiza błędów autorskiej metody określania ciepła spalania gazu ziemnego.

Słowa kluczowe: parametry gazu ziemnego, ciepło spalania, błąd wyznaczania ciepła spalania

1. Wprowadzenie

Gaz ziemny jest istotnym źródłem energii cieplnej. Jako produkt naturalny, jego skład oraz jego parametry fizyczne mogą się znacznie od siebie różnić w zależności od punktu dostawy i sposobu dystrybucji. Zmiany parametrów gazu mają duży wpływ na koszty ogrzewania, produkcji z wykorzystaniem gazu ziemnego oraz rozliczeniach handlowych. W okresie, gdy cena gazu ciągle rośnie, równocześnie wprowadza się coraz bardziej restrykcyjne warunki rozliczeń handlowych. Zwiększająca się liczba dostawców powoduje większe rozbieżności w wartościach parametrów gazu ziemnego dostarczanego do odbiorcy. Ponadto większa liczba partnerów handlowych wymaga ujednolicenia systemu rozliczeń. Międzynarodowy handel gazem (na przykład import LNG) stanowi dodatkowy czynnik wpływający na potrzebę poszukiwania szybkich, dokładnych i ekonomicznie uzasadnionych metod wyznaczania ciepła właściwego gazu.

Obecnie parametry gazu w sieciach przesyłowych w różnych krajach Europy znacznie się od siebie różnią. Różnice te będą jeszcze większe, gdy zostanie zmieniony gaz typu L (niskokaloryczny) na gaz typu H (wysokokaloryczny).

Jak wynika ze statystyki w ostatnich latach 30% gospodarstw domowych i 20% dużych konsumentów uciepiał

z powodu znacznych różnic związanych z jakością dostarczonego gazu. Jednym z parametrów określających jakość gazu jest liczba Wobbego. Dopuszczalna tolerancja jej wartości wynosić do 1,5 kWh/m³ [1]. Ponadto zbyt duża rozbieżność parametrów gazu może mieć negatywny wpływ na różne procesy przemysłowe, a także na emisję zanieczyszczeń, bezpieczeństwo, okres użytkowania itp. Wpływ ten oczywiście może być różny w zależności od zastosowań [2].

Parametry gazu ziemnego mogą ulegać zmianie podczas jego transportowania, co dodatkowo znacznie utrudnia obliczanie faktycznego zużycia energii, a tym samym określenie cech jakościowych gazu ziemnego. Klasyczny pomiar jakości gazu ziemnego wykorzystujący techniki chromatografii gazowej nie sprawdza się do pomiaru chwilowych zmian parametrów gazu. Z kolei uśrednianie próbek nie umożliwia wykrycia zaburzeń związanych z chwilowym spadkiem parametrów dostarczanego gazu. Ponadto chromatografia gazowa jest kosztowna w eksploatacji. Jednostkowy czas analizy wynosi 3–5 minut. Istnieją przyrządy pomiarowe, które określają wskaźnik Wobbego, w połączeniu z pomiarem gęstości względnej, potrafią wyznaczyć wartość opałową gazu w ciągu kilku sekund, lecz koszty ich eksploatacji są niejednokrotnie większe od kosztów eksploatacji chromatografów gazowych.

Obecnie w praktyce coraz częściej używa się gazu wytwarzanego przez zmieszanie różnych palnych i niepalnych gazów i par. Zróżnicowany skład chemiczny takich gazów powoduje, że obecnie najbardziej miarodajnym parametrem jest ciepło spalania.

Biorąc pod uwagę globalną tendencję wzrostu cen energii, w tym gazu ziemnego, coraz większego znaczenia nabiera zapewnienia odpowiedniej dokładności pomiaru. Doświadczenia międzynarodowe [4, 5] i obecna norma krajowa na Ukrainie [6] zalecają, aby rozliczenie zużycia gazu ziemnego obejmowało nie tylko określenie objętości zużytego gazu, ale także uwzględniało jego ciepło spalania. Pozwala to na rozliczanie

Autor korespondujący:

Mariusz Rząsa, m.rzasa@po.opole.pl

Artykuł recenzowany

nadesłany 13.05.2019 r., przyjęty do druku 28.06.2019 r.



Zezwala się na korzystanie z artykułu na warunkach licencji Creative Commons Uznanie autorstwa 3.0

gazu w jednostkach energii. Rozwiązanie to wymaga posiadania niedrogich przyrządów do pomiaru ciepła spalania gazu.

2. Analiza norm określających wyznaczanie ciepła spalania gazu ziemnego

Jakość gazu ziemnego zależy od jego składu chemicznego oraz od wzajemnych proporcji głównych składników. Na Ukrainie obecnie obowiązuje norma międzyrządowa [6], która określa fizyczne i chemiczne właściwości gazu ziemnego. Do najważniejszych parametrów należy ciepło spalania i liczba Wobbe, która jest stosunkiem wartości kalorycznej gazu do pierwiastka kwadratowego jego objętości.

$$W = \frac{Q}{\sqrt{d}} \quad (1)$$

gdzie: Q – wartość kaloryczna, d – gęstość względna.

Z kolei norma [7], która jest zgodna z normą europejską [8, 6], nie odnosi się do gęstości względnej gazu ziemnego, liczby metanu oraz zawartości metanu, azotu i pary wodnej.

Określenie składu chemicznego gazu ziemnego, zarówno na Ukrainie jak i w Europie, przeprowadza się na podstawie analizy chromatograficznej. Na Ukrainie wymagania, jakim powinna odpowiadać metoda analityczna dla pełnej i rozszerzonej analizy gazu ziemnego określa norma [8]. Norma ta określa ilościową zawartość nie tylko podstawowych składników gazu ziemnego, ale również frakcji węglowodorów heksanowych, co stanowi podstawę do obliczenia właściwości fizycznych gazu.

Norma [9] opisuje metody analizy gazu ziemnego przy określonych poziomach niepewności. Jest to niezbędne przy wyznaczaniu wartości opałowej i innych addytywnych właściwości fizycznych gazu, na podstawie badań eksperymentalnych. Jednak wymaga to wstępnego określenia mas molowych poszczególnych składników gazu oraz oszacowania niepewności oznaczania mas molowych.

W Europie obowiązuje norma [10], która jest zgodna z normą [8] obowiązującą na Ukrainie. Norma ta dopuszcza określanie składu chemicznego gazu ziemnego na podstawie analizy chromatograficznej. Określa ona również sposób postępowania podczas określania składu chemicznego mieszaniny gazowej. Ponadto określa metody badawcze, które można stosować do analizy oraz sposób postępowania podczas pobierania próbek.

Zgodnie z normą [11] obowiązującą na Ukrainie ciepło spalania gazu ziemnego nie powinno być niższe niż 31,8 MJ/m³ w temperaturze 20 °C i pod ciśnieniem bezwzględnym 1013,25 Pa.

Norma ta dopuszcza wyznaczenie ciepła spalania dwoma sposobami: na podstawie obliczeń [11] i w wyniku spalania gazu [12, 13]. W praktyce bardzo często wykorzystuje się metodę zgodną z normą [11]. Polega ona na obliczeniu ciepła spalania na podstawie informacji o składzie chemicznym gazu, który to skład jest określany na podstawie analizy chromatograficznej. Metoda ta jest jednak skomplikowana i kosztowna, ponieważ poza posiadaniem drogiej aparatury chromatograficznej, wymaga specjalnie przystosowanego pomieszczenia oraz odpowiedniego oprogramowania umożliwiającego przeprowadzenie analizy składu chemicznego gazu ziemnego.

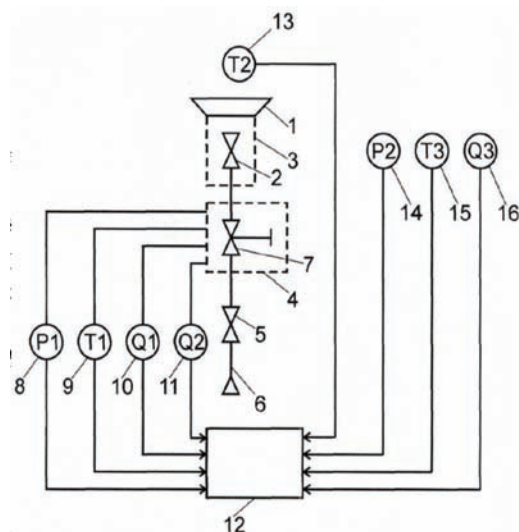
Jednym z parametrów mających wpływ na wartość ciepła spalania jest wilgotność gazu. Stosując metodę chromatograficzną nie uwzględnia się wpływu wilgotności gazu ziemnego na ciepło spalania. Stąd metody oparte na spalaniu gazu są praktyczniejsze. Polegają one na spalaniu w kontrolowanych warunkach określonej ilości gazu, a następnie metodą termometryczną wyznacza się ilość wydzielonej energii cieplnej.

Autorzy pracy zaproponowali metodę szybkiego określania ciepła spalania gazu ziemnego [14], opartą na pomiarze temperatury płomienia spalane go gazu w palniku. Spalanie odbywa się przy stałym stosunku strumienia objętościowego badanego gazu i powietrza. Zaletą tego rozwiązania jest możliwość określania ciepła spalania w warunkach panujących w miejscu odbioru gazu.

Opisana w pracy metoda pomiarowa związana jest z przyrządem pomiarowym, dlatego ograniczono się jedynie do analizy błędów, a nie niepewności, gdyż niepewność jest parametrem charakteryzującym pomiar, a nie przyrząd pomiarowy. Dla autorskiego przyrządu pomiarowego określono błąd graniczny [15], analogicznie jak to mam miejsce w przypadku innych przyrządów pomiarowych, np. gazomierzy membranowych [16].

3. Autorska metoda pomiarowa

Zaproponowana przez autorów metoda pomiarowa [17] polega na pomiarze temperatury spalania w palniku gazowym przy zachowaniu stałego strumienia mieszaniny gazu z powietrzem, który zapewnia odpowiednia konstrukcja palnika.



Rys. 1. Schemat urządzenia do wyznaczania ciepła spalania gazu ziemnego

Fig.1. Diagram of the device for determining the heat of natural gas combustion

Urządzenie do określania ciepła spalania gazu ziemnego przedstawiono na rysunku 1. Składa się ono z palnika (1), który zapewnia odpowiednią mieszankę gazu ziemnego i powietrza. Mieszanka jest wytwarzana za pomocą dyfuzora (2) w komorze mieszającej (3). Strumień gazu dostarczanego do palnika jest dozowany przez odpowiedni układ regulacji (4), w którym zawór (7) jest sterowany komputerowo [17] na podstawie pomiaru: ciśnienia (8), temperatury (9), wilgotności względnej (10) i strumienia gazu (11). Układ zasilania gazem jest podłączony do instalacji gazowej (6) przez zawór regulacyjny (5). W systemie są na bieżąco rejestrowane parametry otoczenia takie jak: ciśnienie (14), temperatura (15) i wilgotność (16).

Ciepło spalania gazu ziemnego H jest obliczane na podstawie wzoru, w którym uwzględnia się ciepło potrzebne do odparowania wody:

$$H = \frac{(A \cdot T - B \cdot K_f \cdot \varphi \cdot q \cdot \tau)}{q \cdot \tau} \quad (2)$$

gdzie: A – współczynnik charakterystyczny dla palnika [kJ/K], T – temperatura płomienia palnika, B – ciepło właściwe odpa-

rowywania wody (wyznaczone na podstawie wilgotność powietrza), K_I – współczynnik wtrysku charakterystyczny dla danego palnika [$\text{K} \cdot \text{kg}/\text{m}^3$], ϕ – wilgotność bezwzględna, q – normalny objętościowy strumień, τ – czas przepływu gazu.

Dla każdego palnika indywidualnie wyznacza się współczynnik charakterystyczny A . Współczynnik ten wyznacza się na podstawie trzech różnych mieszanin gazu ziemnego o znanym cieple spalania. Na tej podstawie wyznacza się charakterystykę zmian ciepła spalania gazu ziemnego od temperatury płomienia. Kalibrację przeprowadza się w kontrolowanych warunkach mierząc ciśnienie gazu, jego temperaturę, gęstość i wilgotność oraz parametry otoczenia takie jak ciśnienie, temperatura i wilgotność powietrza. Współczynnik A jest obliczany na podstawie następującego wzoru:

$$A = \frac{H \cdot q \cdot \tau}{T} + \frac{B \cdot K_I \cdot \phi \cdot q \cdot \tau}{T} \quad (3)$$

Na podstawie równania (3) sformułowano dwa główne składniki błędu. Pierwszy składnik oznaczono jako Δ_{A0} , który nazwano błędem podstawowym, wynika z niedokładności pierwszego członu sumy we wzorze (3). Drugi składnik Δ_{AD} odnosi się do drugiej części sumy wzoru (3) i jest nazywany błędem dodatkowym. Zależy on od wilgotności środowiska (powietrza), które bierze udział w procesie spalania gazu.

Stąd całkowity błąd współczynnika A określa wyrażenie:

$$\Delta_A = \Delta_{A0} + \Delta_{AD} \quad (4)$$

Każdy ze składników błędu we wzorze (4) jest błędem pośrednim. Ponieważ liczba parametrów składowych jest większa od czterech, zatem uwzględniając prawdopodobieństwo rozkładu błędów instrumentalnych przyrządów pomiarowych, błąd Δ_A można wyrazić zależnością:

$$\Delta_A = \pm \frac{K_q}{\sqrt{3}} \cdot \left[\sqrt{\sum_{i=1}^n \Delta_i^2} + \sqrt{\sum_{j=1}^m \Delta_j^2} \right] \quad (5)$$

gdzie: Δ_i , Δ_j – wartości graniczne błędu pomiaru dla i -tego oraz j -tego parametru, z liczby kombinacji n i m . Wartość K_q dla liczby argumentów większej niż cztery dla przedziału ufności prawdopodobieństwa 0,95 wynosi $K_q = 1,96$.

Po uwzględnieniu powyższej zależności równanie (4) przyjmuje następującą postać:

$$\Delta_A = \pm \frac{K_q}{\sqrt{3}} \cdot \left[\sqrt{\Delta_H^2 + \Delta_T^2 + \Delta_q^2 + \Delta_\tau^2} + \sqrt{\Delta_B^2 + \Delta_{K_I}^2 + \Delta_\phi^2 + \Delta_T^2 + \Delta_q^2 + \Delta_\tau^2} \right] \quad (6)$$

Na podstawie danych referencyjnych i charakterystyk metrologicznych przyrządów pomiarowych używanych do kalibracji palnika dopuszczalne wartości graniczne błędów wynoszą: $\Delta_H = \pm 1\%$; $\Delta_q = \pm 1,5\%$; $\Delta_B = 0$ (wartość odniesienia, więc można pominąć ten błąd); $\Delta_{K_I} = \pm 0,2\%$ (wynika on z różnicy ilości powietrza, jaka jest potrzebna do spalania gazu o różnej wartości opałowej); $\Delta_\phi = \pm 1\%$ (błąd termohigrometru TFA 305023).

Błąd graniczny pomiaru temperatury obliczono na podstawie wzoru:

$$\Delta_T = 0,5 \cdot \left(\frac{N_T}{273,15 + t} \right) \cdot S_T = \pm 0,68\% \quad (7)$$

gdzie: $S_T = 1$ – klasa dokładności termometru; $N_T = 1600$, t – zakres pomiarowy termometru.

Graniczny błąd pomiaru czasu przejścia gazu przez palnik obliczono z zależności:

$$\Delta_\tau = \frac{\epsilon_\tau}{\tau} \cdot 100\% = \pm 5,55 \cdot 10^{-3}\% \quad (8)$$

gdzie: $\epsilon_\tau = 0,1$ s – bezwzględny błąd pomiaru czasu.

Badania przeprowadzono dla następujących parametrów dostarczanego gazu i warunków otoczenia: $H = 38 \cdot 10^6$ J/m³; $q = 0,016$ m³/h; $B = 2258,2 \cdot 10^3$ J/kg; $K_I = 9,52$ m³/m³; $\phi = 10,27 \cdot 10^{-3}$ kg/m³; $\tau = 180$ s; $T = 800$ °C.

Po obliczeniu składowych błędów i podstawieniu do równania (6) otrzymano błąd kalibracji współczynnika A , który wynosi $\Delta_A = \pm 1,54\%$.

W przypadku, gdy temperatura palnika jest mierzona w sposób ciągły, to wartość chwilowa ciepła spalania jest obliczana na podstawie wzoru:

$$H = \frac{A \cdot T}{q \cdot \tau} - B \cdot K_I \cdot \phi \quad (9)$$

Dla tak sformułowanego wyrażenia błąd wyznaczenia ciepła spalania gazu ziemnego Δ_H ma dwie składowe Δ_m , która odnosi się do pierwszego członu równania (9) oraz Δ_{H2} , odnosząca się do drugiej części równania, która zależy od wilgotności otoczenia (powietrza) biorącego udział w spalaniu gazu.

Na podstawie tych dwóch składników oraz błędu określenia współczynnika A całkowity błąd wyznaczenia chwilowej wartości ciepła spalania gazu ziemnego obliczono na podstawie zależności:

$$\Delta_H = \Delta_{H1} + \Delta_{H2} + \Delta_H \quad (10)$$

gdzie: Δ_{HA} – błąd przybliżenia kalibracji palnika, który wynosi $\pm 0,2\%$.

Każdy z dwóch pierwszych składników w równaniu (10) jest błędem pośrednim.

$$\Delta_H = \sqrt{\left(\frac{\partial H}{\partial A} \cdot \Delta_A \right)^2 + \left(\frac{\partial H}{\partial T} \cdot \Delta_T \right)^2 + \left(\frac{\partial H}{\partial q} \cdot \Delta_q \right)^2 + \left(\frac{\partial H}{\partial \tau} \cdot \Delta_\tau \right)^2} + \sqrt{\left(\frac{\partial H}{\partial B} \cdot \Delta_B \right)^2 + \left(\frac{\partial H}{\partial K_I} \cdot \Delta_{K_I} \right)^2 + \left(\frac{\partial H}{\partial \phi} \cdot \Delta_\phi \right)^2} + \Delta_{HA} \quad (10)$$

gdzie: $\partial H/\partial A$, $\partial H/\partial T$, $\partial H/\partial q$, $\partial H/\partial \tau$, $\partial H/\partial B$, $\partial H/\partial K_I$, $\partial H/\partial \phi$ – współczynniki wrażliwości dla błędów parametrów A , T , q , τ , B , K_I , ϕ .

Wartości współczynników wrażliwości wynoszą: $\partial H/\partial A = 1,014 \cdot 10^6$ K/m³, $\partial H/\partial T = 3,542 \cdot 10^4$ J/(K·m³), $\partial H/\partial q = -6,375 \cdot 10^{12}$ J·s/m⁶, $\partial H/\partial \tau = -1,574 \cdot 10^5$ J/(s·m³), $\partial H/\partial B = -0,098$ kg/m³, $\partial H/\partial K_I = -2,319 \cdot 10^4$ J/m³, $\partial H/\partial \phi = -2,15 \cdot 10^7$ J/kg.

Przykładowy błąd ciepła spalania gazu ziemnego, dla: $A = 28,33$ J/K, $q = 0,016$ m³/h; $B = 2258,2 \cdot 10^3$ J/kg; $K_I = 9,52$ m³/m³; $\phi = 10,27 \cdot 10^{-3}$ kg/m³; $\tau = 180$ s; $T = 1070$ K, wynosi $\Delta_{H_c} = 0,95$ MJ/m³, co stanowi $\pm 2,5\%$ wartości ciepła spalania.

4. Wnioski

Na podstawie przeprowadzonej analizy błędów stwierdzono, że wartość błędu wyznaczenia chwilowej wartości ciepła spalania na poziomie 2,5% wartości mierzonej jest zadowalająca w zastosowaniu do układów kontroli procesów przemysłowych w których wykorzystuje się gaz ziemny. Przedstawioną metodę pomiarową charakteryzuje prosta konstrukcja aparatury pomiarowej która nie wymaga specjalnych warunków otoczenia podczas prowadzenia badań. Może ona mieć zastosowanie do monitorowania jakości dostarczanego gazu w miejscu odbioru. Tego rodzaju rozwiązanie umożliwia prowadzenie indywidualnej kontroli pobranej energii gazowej przez odbiorcę.

Bibliografia

1. Nitschke-Kowsky P., Martino A., Weßling W., Vogt M., Gasbeschaffenheit und ihre Schwankungen in E.ON-Verteilnetzen. "gwf-Gas Erdgas", Nr 2, 2016, 166–176.
2. Leicher J., Giese A., Änderung der Gasbeschaffenheit in Deutschland und Europa: Auswirkungen auf industrielle Feuerungsprozesse (Teil 1). "gwf-Gas Erdgas", Nr 10, 2013, 754–760.
3. Norma ISO 15112:2007 Natural Gas – Energy determination.
4. Norma EN 1776:2015 Gas infrastructure. Gas measuring systems. Functional requirements.
5. Norma DSTU ISO 15112:2009 Norma Ukrainka: Pryrodnyy gaz. Gaz ziemny. Wyznaczenie energii gazu.
6. Norma GOST 5542-87 Norma Interstate: Palne gazy naturalne do celów przemysłowych i domowych.
7. Norma ISO 13686:2013 Natural gas. Quality designation.
8. Norma DSTU ISO 6975:2012 Norma Ukrainka: Gaz ziemny. Zaawansowana analiza. Metoda chromatografii gazowej.
9. Norma DSTU ISO 6974-1...5:2007 Norma Ukrainka: Gaz ziemny. Oznaczanie składu przy danej niepewności metodą chromatografii gazowej.
10. ISO10723:2012 Natural gas. Performance evaluation for analytical systems.
11. Norma GOST 22667-82 Norma Interstate: Palne gazy naturalne. Metoda obliczeniowa do określania ciepła spalania, gęstości względnej i wskaźnika Wobbego.
12. Norma GOST 27193-86 Norma Interstate: Palne gazy naturalne. Metoda wyznaczania ciepła spalania za pomocą kalorymetru wodnego.
13. Norma GOST 10062-75 Norma Interstate: Naturalne gazy palne. Metoda określania ciepła właściwego spalania.
14. Serediuk O.E., Liutenko T.V., Malisevych N.M., *Method of express-determination of natural gas heating value* (in Ukrainian: *Sposib ekspres-vyznachennya teploty zgoryannya pryrodnogo gazu*). Patent 112737 C2 Ukraine, IPC (2006.01) G01N25/20 No. a201512215; declared 09.12.2015; published 10.10.2016; Bulletin No. 19.
15. Polishuk Je., Dorozhovets M., Jathuc V. [and oth.], *Metrology and measuring technique* (in Ukrainian: *Metrolohiya ta vymiryuval'na tekhnika*), Vydavnytstvo Beskyd Bit, Lviv 2003.
16. Serediuk O., Warsza Z.L., Zmiany błędów pomiarowych gazomierzy miechowych w eksploatacji, „Przemysł Chemiczny”, T. 96, Nr 8, 2017, 1767–1770, DOI: 10.15199/62.2017.8.33.
17. Serediuk O., Malisevych N., Rząsa M.R., *Proponycja metody pomiaru ciepła spalania gazu ziemnego z uwzględnieniem wilgotności gazu i powietrza* // L Międzyuczelniana Konferencja Metrologów. MKM 2018, Szczecin – Kopenhaga, 10–12 września 2018, „Zeszyty Naukowe Wydziału Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej”, Gdańsk, Nr 59, 2018. 175–178, DOI: 10.32016/1.59.37.

Analysis of Measurement Error for Measurement Method for Designation of Natural Gas Combustion Heat

Abstract: The paper describes the original method for determining the heat of natural gas combustion. It was compared with other currently used methods. The standards for determining the quality of natural gas in force in Europe and Ukraine have been described. The proposed solution makes it possible to determine the heat of natural gas combustion at the place of consumer reception. In addition, the device performs measurement in a relatively short time allowing the monitoring of the heat of gas combustion in on-line mode. Metrological analysis was carried out in this work for such determination of the heat of natural gas combustion. The presented measurement method is characterized by a simple construction of measuring equipment that does not require special environmental conditions during testing. It may be used to monitor the quality of gas supplied at the place of collection. Based on the performed error analysis, it was found that the error value for determining the instantaneous value of the heat of combustion at the level of 2.5% of the measured value.

Keywords: parameters of natural gas, heat of combustion, error of calculating the heat of combustion

**prof. dr nauk techn. inż.
Orest Serediuk**

O_Serediuk@ukr.net

W 1990 r. uzyskał stopień doktora nauk technicznych, a w 2009 r. doktora nauk technicznych (habilitacja), od 2012 r. – profesora. Kierownik działu „Metrologia i inżynieria informacji i pomiarów” w Iwano-Frankiwskim Narodowym Uniwersytecie Technicznym Nafty i Gazu (IFNTUNG), Ukraina. Tematy naukowe: opracowanie i testowanie urządzeń kalibracyjnych do pomiaru przepływu i objętości powietrza i gazu ziemnego, badanie właściwości metrologicznych przepływomierzy i gazomierzy, a także opracowanie metod i przyrządów do pomiaru i kontroli ciepła spalania gazu ziemnego. Autor ponad 250 publikacji naukowych, w tym 45 patentów, 2 podręczników i 4 przewodników dla studentów.

**Nataliya Malisevych**

nat-mal-vit-2007@ukr.net

W 2008 r. ukończyła Iwano-Frankiowski Narodowy Uniwersytet Techniczny Nafty i Gazu, uzyskując tytuł magistra w dziedzinie metrologii i inżynierii pomiarów informacji. Od 2016 r. słuchacz studiów podyplomowych z zakresu „Metrologii i inżynierii informacji i pomiarów”. Tematy naukowe: „Rozwój i badania metrologiczne urządzeń do kontrolowania ciepła spalania gazu ziemnego”. Jest autorem 10 publikacji naukowych, w tym 2 patentów.

**dr hab. inż. Mariusz R. Rząsa, prof. PO**

m.rzasa@po.opole.pl

Studia wyższe ukończył na Wydziale Elektrycznym Politechniki Opolskiej w czerwcu 1994 r., gdzie uzyskał tytuł magistra inżyniera elektryka o specjalności Automatyka i Metrologia Elektryczna. Po ukończeniu studiów został zatrudniony jako asystent w Katedrze Techniki Ciepłej i Aparatury Przemysłowej na Wydziale Mechanicznym Politechniki Opolskiej. Zajmuje się komputerowymi technikami pomiarowymi i tomografią procesową. Tematem szczególnych badań są pomiary przepływów jedno- i dwufazowych. W oparciu o prowadzone badania w listopadzie 2001 r. uzyskał tytuł doktora nauk technicznych o specjalności Budowa i Eksploatacja Maszyn. Następnie w 2013 r. stopień doktora habilitowanego na Wydziale Inżynierii Mechanicznej i Informatyki Politechniki Częstochowskiej. Jest autorem szeregu prac z tomografii procesowej, metod optycznych i pomiarów przepływów.

