

BADANIE BŁĘDÓW POMIAROWYCH GAZOMIERZY MEMBRANOWYCH PO SZEŚCIU LATACH EKSPLOATACJI

Orest SEREDYUK¹, Tetiana LIUTENKO¹, Denys SEREDYUK², Zygmunt Lech WARSZA³

1. Iwano-Frankowski Narodowy Uniwersytet Techniczny Ropy Naftowej i Gazu
Tel.: +380974687903, e-mail: feivt@nung.edu.ua
2. «Ivano-Frankivskstandartmetrology SA »
Tel.: +380672590794, e-mail: sdo_if@meta.ua
3. Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów PIAP,
Tel.: +48 692033661, e-mail: zlw@op.pl

Streszczenie: Omówiono statystyczne wyniki badań dokładności liczników membranowych gazu, czyli gazomierzy miechowych, wykonane na Ukrainie po sześciu latach ich eksploatacji. Parametry techniczne, warunki wzorcowania i dokładność gazomierzy ujęte są w przepisach ukraińskich podobnie jak w międzynarodowych i polskich standardach. Okresowa kalibracja gazomierzy jest niezbędna do poprawy wiarygodności dostaw gazu ziemnego. Przeprowadzono ją dla trzech reprezentatywnych zbiorów gazomierzy membranowych typu G4 wyprodukowanych we Francji, Polsce i Ukrainie. Zmierzone ich błędy pomiarowe dla trzech wartości przepływów. Liczniki podzielono wg otrzymanych wartości błędów w pięciu zakresach i wyznaczono dla nich podstawowe parametry statystyczne. Analiza uzasadnia konieczność stosowania nowego podejścia metrologicznego, tj. odpowiednio częściej okresowej kalibracji gazomierzy dla małych przepływów, wykonywanej w laboratorium wzorcowym lub w miejscu instalacji.

Słowa kluczowe: gazomierz membranowy (miechowy), gaz ziemny, przepływ roboczy, błąd pomiarowy.

1. WSTĘP

W wieku krajach, w tym w Polsce i na Ukrainie pojawiła się konieczność wdrożenia w praktyce bardziej racjonalnej gospodarki gazem ziemnym. Jest to jeden z podstawowych kierunków poprawienia efektywności energetycznej i wymaga zwiększenia dokładności pomiaru dostaw gazu ziemnego. Na Ukrainie u odbiorców indywidualnych jest zainstalowanych ponad siedem milionów membranowych liczników objętości przepływającego gazu, nazywanych też w Polsce gazomierzami miechowymi (GM). Ich parametry metrologiczne zależą od stopnia zużycia elementów konstrukcyjnych w trakcie eksploatacji. Z upływem czasu użytkowania błędy pomiarowe zmieniają się w kierunku ujemnym. Wskutek tego wskazanie o przepływie tej samej objętości gazu zniża się. Jest to korzystne dla odbiorców, ale sprzedawcy ponoszą straty. Przepisy, międzynarodowe [1] i ukraińskie [2] nie wymagają przeprowadzania bieżącej weryfikacji gazomierzy podczas ich pracy w instalacji. W Polsce, po 10 latach gazomierze zmienia się na nowe. Na Ukrainie, po 6. latach pracy przewiduje się krótkotrwale ich odłączanie do sprawdzenia w laboratorium na stanowisku wzorcowym z przepływem powietrza. Liczniki o błędach różniących się od dopuszczalnych podlegają serwisowi

lub jeśli nie dają się naprawić, wymienia się je na inne. Przy takim podejściu nieznaną jest jednak wartość przepływu zmierzona w okresie pracy, gdy błąd przekroczył już wartość dopuszczalną. W trakcie użytkowania licznika, błąd bieżący można wykryć tylko poprzez częste sprawdzenie w miejscu instalacji, np. w laboratorium przewoźnym.

Na uczelni w Iwano-Frankowsku (dawny Stanisławów) zaproponowano oryginalną metodę wyznaczania błędów pomiaru gazu ziemnego licznikami GM "in situ" u odbiorcy. Opracowano też wyposażenie pomiarowe do kontroli tych błędów bez demontażu licznika [5], [6]. Użyteczność stosowania w praktyce tej metody uzasadnia się też różnicą wskazań liczników GM przy pomiarze gazu ziemnego oraz sprawdzaniu go powietrzem na stanowisku wzorcowym.

Wyniki eksperymentalnych badań błędów pomiaru przepływu licznikami GM potwierdzają zależność ich wskazań od rodzaju mierzonego medium (powietrze lub gaz ziemny), od ciśnienia i temperatury tego medium, warunków otoczenia oraz geometrii instalacji gazowej. Wpływy te ujęte są w danych znamionowych i instrukcji montażu gazomierzy GM, np. w [7, 8]. Błędy występujące przy pomiarach powietrza i gazu ziemnego mogą różnić się od +0,5% do -1,5%. Nie są też znane zależności matematyczne opisujące wpływ rodzaju medium roboczego i innych warunków pracy gazomierzy membranowych na zmiany ich łądów

W literaturze naukowo-technicznej nie znaleziono informacji o zależnościach opisujących zmiany błędów gazomierzy w czasie trwania eksploatacji w warunkach roboczych. W wewnętrznych raportach organów nadzoru metrologicznego można jedynie spotkać informacje o liczbie odrzuconych gazomierzy po ich okresowym sprawdzeniu. Informacja ta zwykle nie jest jednak podawana w ogólnie dostępnych publikacjach.

Wartości błędów gazomierzy podczas ich działania zależą od wartości przepływu, zakresu pomiarowego, wykonania przez producenta, czasu użytkowania, warunków pracy oraz od parametrów gazu ziemnego. Przy tak wielu wpływających czynnikach postanowiono przeanalizować wyniki pomiarów błędów membranowych liczników gazu otrzymane po sześciu latach ich pracy. Zostaną one uogólnione, by zidentyfikować statystyczne, tj. odpowiednio uśrednione, zmiany błędów po określonym czasie pracy.

2. WYNIKI BADAŃ, ICH ANALIZA I SYNTEZA

Wyniki badań błędów pomiarowych liczników GM po ustalonym okresie pracy stanowią podstawową informację do decyzji o dalszym ich funkcjonowaniu w warunkach ich pracy. Placówki nadzoru metrologicznego dostawców gazu wyznaczają wartości błędów dla określonych egzemplarzy liczników. Statystycznej analizie i syntezy tych wyników kalibracji zwykle nie wykonuje się, bądź nie publikuje się. Wyjaśnienia takich problemów, jak często sprawdzać i dla jakich przepływów, nie znaleziono też w literaturze naukowej.

W praktyce stosowanej na Ukrainie montuje się nowe liczniki GM o błędzie pomiarów w zakresie $\pm 3\%$ wg danych producenta. Muszą też one spełniać inne ujęte przepisami wymagania techniczne dla danych warunków użytkowania. Po określonym czasie eksploatacji sprawdza się te liczniki na stanowisku wzorcowym, wyznacza się ich błędy i kwalifikuje na egzemplarze spełniające oraz nie spełniające wymagań przepisów przy tej kalibracji. Można też obliczyć błąd średni kwadratowy dla odpowiedniej liczby liczników danego rodzaju, np. G4 i określonego ich producenta uwzględniając parametry badania i region instalacji. Jednak takie wyniki badań nie są kompletne, gdyż nie odzwierciedlają statystycznych zmian parametrów opisujących błędy pomiaru dla określonego typu i zakresu licznika GM, na przykład oceny zmian jego odchylenia standardowego. Brakuje też algorytmów, które uwzględniałyby liczbę liczników o błędach zawartych w danym zakresie w porównaniu z całkowitą liczbą badanych przyrządów. Wyznaczana eksperymentalnie wartość średnia arytmetyczna określająca błąd statystyczny liczników GM w odniesieniu do zużycia gazu też nie jest w pełni poprawna. Na przykład średni błąd -10% przy natężeniu przepływu $1 \text{ m}^3/\text{h}$ może zostać zredukowany do zera przez błąd $+1\%$ przy takim samym przepływie dla 10-ciu liczników. Dlatego też arytmetyczne uśrednianie błędów bez uwzględnienia współczynników wagi zależnych od liczby liczników i określonego zakresu ich dokładności zwykle może być niewystarczające.

Podstawę do wyznaczenia wyników analizy statystycznej stanowiły wyniki kalibracji wybranych losowo grup egzemplarzy z ponad trzech tysięcy liczników GM po 6-ciu latach ich użycia. Zbadano je dla przepływu powietrza na stanowisku wzorcowym spółki akcyjnej JSC "Ivano-Frankovskgas" o budowie i parametrach metrologicznych opisanych w [3], [4].

Według wymagań przepisów ukraińskich [2] błędy liczników GM bada się eksperymentalnie dla trzech wartości przepływu Q_{\min} , $0,2Q_{\max}$, Q_{\max} . Sprawdzane w tych badaniach liczniki typu G4, podzielono wg producenta i wartości błędów.

Kryterium podziału był pełny zakres wartości błędów ustalany dla przepływu minimalnego Q_{\min} . Podzielono go na pięć mniejszych zakresów.

Zakresy 1 i 2 obejmują maksymalny dopuszczalny błąd gazomierzy wymagany od producentów przy końcowej kontroli produkcji. Zakres 1 - to błędy dodatnie od 0 do $+3\%$, a zakres 2 - błędy ujemne od 0 do -3% .

Zakres 3 obejmuje ujemne błędy zawierające się w przedziale od -3% do -6% . Charakteryzuje on największą akceptowalną zmianę błędów gazomierzy po określonym czasie eksploatacji. Na Ukrainie przy okresowej kalibracji liczniki o błędach w zakresie od $+3\%$ do -6% są traktowane jeszcze jako sprawne.

W omawianych tu badaniach wybrano jeszcze dwa zakresy błędów ujemnych, w których też występują błędy niektórych gazomierzy sprawdzanych po 6. latach pracy. Zwykle można je jeszcze naprawić. Jest to zakres $i=4$ dla błędów od -6% do -15% oraz zakres $i=5$: od -15% do -30% . Do analizy statystycznej wyznaczono liczby sprawdzanych liczników o błędach w tych zakresach.

Badania i analizę przeprowadzono dla gazomierzy membranowych typu G4 od trzech producentów: GALLUS G4 (Actaris Francja), METRIX G4 (Polska), SAMGAS G4 (Ukraina). W danych technicznych tych gazomierzy podane są trzy znamionowe wartości przepływów:

$$Q_{\min} = 0,04 \text{ m}^3/\text{h}; \quad 0,2Q_{\max} = 1,2 \text{ m}^3/\text{h}; \quad Q_{\max} = 6 \text{ m}^3/\text{h}.$$

Błąd wskazania oblicza się w procentach (1) jako względną różnicę między objętością gazu wskazaną przez gazomierz i przez niego rzeczywiście przepływającą przy wzorcowaniu

$$\delta = \frac{V_i - V_c}{V_c} \cdot 100\% \quad (1)$$

gdzie: δ - procentowy błąd licznika, V_i - wskazanie objętości przepływu na gazomierzu, V_c - objętość gazu, która przez licznik rzeczywiście przepłynęła (objętość wzorcowa).

Na podstawie danych z tych badań wyznaczono i przedstawiono w tabelach liczby N_i gazomierzy o błędach w zakresach i oraz ich parametry statystyczne, tj. średnie błędy $\bar{\delta}_{Q_{\min}}^i$, $\bar{\delta}_{0,2Q_{\max}}^i$, $\bar{\delta}_{Q_{\max}}^i$ - odpowiednio dla przepływów charakterystycznych Q_{\min} , $0,2Q_{\max}$, Q_{\max} oraz ich odchylenia standardowe: $\mu_{Q_{\min}}^i$, $\mu_{0,2Q_{\max}}^i$, $\mu_{Q_{\max}}^i$.

Podstawą kwalifikacji licznika do partii o odpowiednim zakresie błędów jest jego wartość dla przepływu minimalnego Q_{\min} . Tabele 1 ... 5 przedstawiają obliczenia statystycznych parametrów dla błędów w zakresach $i = (1... 5)$ otrzymanych z pomiarów dla trzech przepływów Q_{\min} , $0,2Q_{\max}$ i Q_{\max} .

Tabela 1. Parametry statystyczne dodatnich błędów gazomierzy membranowych z zakresu 1: (0, +3)% dla trzech przepływów Q

Typ i wielkość GM	Producent	N_1	$\bar{\delta}_{Q_{\min}}^1, \%$	$\mu_{Q_{\min}}^1, \%$	$\bar{\delta}_{0,2Q_{\max}}^1, \%$	$\mu_{0,2Q_{\max}}^1, \%$	$\bar{\delta}_{Q_{\max}}^1, \%$	$\mu_{Q_{\max}}^1, \%$
GALLUS G4	Actaris Fr	31	0,63	0,441	1,82	0,652	0,60	0,777
METRIX G4	Metrix Pl	21	0,69	0,673	2,14	0,644	-0,21	0,639
SAMGAS G4	Ukraina	81	0,50	0,347	2,25	0,489	-0,12	0,678

Tabela 2. Parametry statystyczne ujemnych błędów gazomierzy membranowych z zakresu 2: (0, -3)% dla trzech przepływów Q

Typ i wielkość GM	Producent	N_2	$\bar{\delta}_{Q_{\min}}^2, \%$	$\mu_{Q_{\min}}^2, \%$	$\bar{\delta}_{0,2Q_{\max}}^2, \%$	$\mu_{0,2Q_{\max}}^2, \%$	$\bar{\delta}_{Q_{\max}}^2, \%$	$\mu_{Q_{\max}}^2, \%$
GALLUS G4	Actaris Fr	41	-1,36	0,841	0,63	1,599	-0,09	1,045
METRIX G4	Metrix Pl	34	-1,58	0,829	1,45	0,672	-0,76	0,793
SAMGAS G4	Ukraina	62	-1,72	0,920	1,70	0,776	-0,90	0,622

Tabela 3. Parametry statystyczne ujemnych błędów gazomierzy membranowych z zakresu 3: (-3, -6)% dla różnych przepływów Q

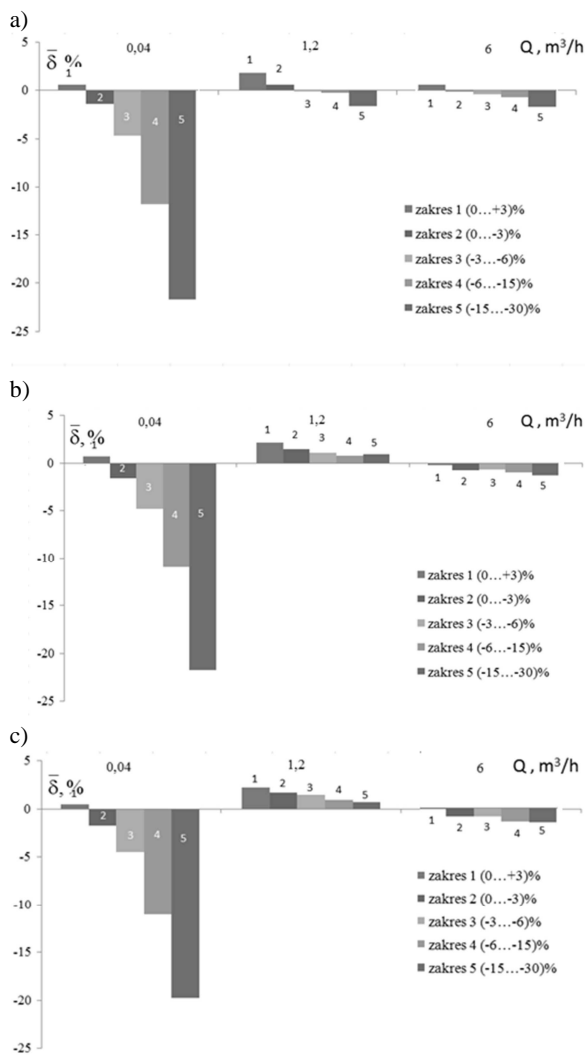
Typ i wielkość GM	Producent	N_3	$\bar{\delta}_{Qmin}^3, \%$	$\mu_{Qmin}^3, \%$	$\bar{\delta}_{0,2Qmax}^3, \%$	$\mu_{0,2Qmax}^3, \%$	$\bar{\delta}_{Qmax}^3, \%$	$\mu_{Qmax}^3, \%$
GALLUS G4	Actaris Fr	24	-4,64	0,977	-0,07	1,182	-0,37	1,058
METRIX G4	Metrix Pl	46	-4,78	0,874	1,11	0,998	-0,66	1,092
SAMGAS G4	Ukraina	65	-4,45	0,842	1,51	0,934	-0,89	0,618

Tabela 4. Parametry statystyczne ujemnych błędów gazomierzy membranowych z zakresu 4: (-6, -15)% dla trzech przepływów Q

Typ i wielkość GM	Producent	N_4	$\bar{\delta}_{Qmin}^4, \%$	$\mu_{Qmin}^4, \%$	$\bar{\delta}_{0,2Qmax}^4, \%$	$\mu_{0,2Qmax}^4, \%$	$\bar{\delta}_{Qmax}^4, \%$	$\mu_{Qmax}^4, \%$
GALLUS G4	Actaris Fr	32	-11,82	1,797	-0,26	1,066	-0,69	1,184
METRIX G4	Metrix Pl	27	-10,95	1,833	0,81	1,147	-0,95	0,874
SAMGAS G4	Ukraina	70	-11,02	2,004	0,92	1,579	-1,42	1,387

Tabela 5. Parametry statystyczne ujemnych błędów gazomierzy membranowych z zakresu 5: (-15, -30)% dla trzech przepływów Q

Typ i wielkość GM	Producent	N_5	$\bar{\delta}_{Qmin}^5, \%$	$\mu_{Qmin}^5, \%$	$\bar{\delta}_{0,2Qmax}^5, \%$	$\mu_{0,2Qmax}^5, \%$	$\bar{\delta}_{Qmax}^5, \%$	$\mu_{Qmax}^5, \%$
GALLUS G4	Actaris Fr	29	-21,65	4,355	-1,61	3,230	-1,71	4,893
METRIX G4	Metrix Pl	17	-21,75	4,418	0,96	0,831	-1,23	0,833
SAMGAS G4	Ukraina	72	-19,72	4,453	0,75	1,625	-1,53	0,733



Rys. 1. Histogramy średnich względnych błędów w % dla zakresów $i = 1-5$ ich wartości i dla trzech punktów pomiarowych $Q = (0,04; 1,2; 6,0) \text{ m}^3/\text{h}$, dla trzech typów gazomierzy G4: (a) GALLUS, (b) METRIX, (c) SAMGAS, zmierzone po 6-ciu latach ich pracy

Ilustrację wyników sprawdzania błędów pomiarowych grup liczników membranowych G4 od trzech różnych producentów, po 6. latach ich użytkowania, podano na rysunku 1a,b,c. Przedstawiają one histogramy wartości średnich błędów w pięciu zakresach dla trzech wartości mierzonego przepływu.

Ich wartości względne znacznie zmieniają się dla przepływów w zakresie Q_{min} do $0,2Q_{max}$. Zmiany wartości błędów są dużo mniejsze począwszy od $0,2Q_{max}$ do Q_{max} . Zależności te pokrywają się ze znanymi przebiegami błędów dla nowych gazomierzy jeszcze nie będących w eksploatacji. Jednakże dość zaskakujący jest fakt, że dla gazomierzy o zasadniczo różniących się wartościach błędów w przedziale początkowym, tj. od Q_{min} do $0,2Q_{max}$, otrzymano niemal identyczne zmiany błędów w zakresie od $0,2Q_{max}$ do Q_{max} .

Charakterystykę zmian błędów gazomierzy GM można określić ilościowo na podstawie analizy statystycznej wskazań tych z nich, które podlegały okresowej kalibracji na stanowisku wzorcowym. Analiza ta pozwala wyznaczyć przebiegi zmian błędów liczników dla różnych stopni zużycia elementów ich mechanizmów. W szczególności dotyczy to kontroli liczników przy minimalnych przepływach, dla których błąd jest dodatni, lub nie spada poniżej -15%. Charakteryzują się tym gazomierze GM o przeciętnym stopniu zużycia. Dla błędów w zakresie 4, tj. od -15% do -30% stopień degradacji jest już dosyć znaczny. Według tych zależności statystycznych, można oceniać celowość naprawy danego egzemplarza oraz określić warunki, w których należy zastąpić go sprawnym miernikiem. Analiza porównawcza liczb gazomierzy GM, których błędy pomiarowe przy minimalnym dopuszczalnym przepływie mieszczą się w danym zakresie (Tabele 1...5) umożliwia oszacowanie statystyczne ich liczby o wartości błędów powstającego w eksploatacji. W taki sposób można też charakteryzować dany typ gazomierza od różnych producentów.

W tabeli 6 podano udziały procentowe gazomierzy badanych po okresie 6 lat w eksploatacji i spełniających nadal wymagania takie, jak dla błędów początkowego $\pm 3\%$

oraz dla błędu w szerszym zakresie (+3, -6)%, jeszcze dopuszczalnego na Ukrainie bez konieczności serwisowania.

Tabela 6. Procent gazomierzy spełniających wymaganą dokładność w pomiarach minimalnych przepływów po 6. latach pracy

Typ gazomierzy membranowych	Błąd $\pm 3\%$ wg danych producenta	Błąd w zakresie (+3, - 6) % po 6. latach pracy
GALLUS G4	41,1 %	54,8 %
METRIX G4	36,7 %	67,4 %
SAMGAS G4	37,6 %	54,7 %

3. PODSUMOWANIE i WNIOSKI

Zbadano błędy pomiarowe trzech reprezentatywnych grup gazomierzy membranowych G4 od różnych producentów po 6 latach ich eksploatacji na Ukrainie. Przeprowadzono je dla trzech charakterystycznych przepływów Q_{\min} , $0,2Q_{\max}$ i Q_{\max} . Dokonano analizy statystycznej wyników tych badań. Ustalono, że charakter zmian błędów gazomierzy G4 wraz z przepływem jest podobny, a ich wartości średnie i odchylenia standardowe w poszczególnych 5. zakresach są zbliżone.

Ustalono też liczby liczników w każdym z zakresów błędu. Zbadane liczniki pomimo, że były wyprodukowane przez trzech różnych producentów, miały zbliżoną jakość.

Otrzymano też, że błędy dla przepływów roboczych w zakresie $0,2Q_{\max} - Q_{\max}$ nie są skorelowane z błędami w początkowym zakresie $Q_{\min} - 0,2Q_{\max}$. Dla weryfikacji gazomierzy GM w trakcie eksploatacji wystarczyły by więc kontrole błędów pomiarowych tylko dla dwóch wartości w dolnym zakresie przepływów roboczych, np. dla natężeń przepływów Q_{\min} i $0,2Q_{\max}$. Natomiast dla Q_{\max} można będzie określać błąd metodą symulacji. Przy opracowywaniu takiej nowej metody okresowej kontroli gazomierzy należało by przeprowadzić jeszcze dodatkowe badania statystyczne.

Autorzy proponują też, aby kontrolę gazomierzy w trakcie eksploatacji realizować u klienta i wykonywać ją bądź w przepływie powietrza na stanowisku w przewoźnym laboratorium pomiarowym, bądź za pomocą gazu ziemnego przy użyciu specjalnej aparatury kalibracyjnej nie wymagającej

zdejmowania liczników z instalacji gazowej, czyli bez ich demontażu [5], [6]. Poskutkuje to wzrostem dokładności pomiarów dostaw gazu, zmniejszy pracochłonność i koszty serwisu oraz konieczność przewożenia gazomierzy do i z laboratorium kontrolnego. Takie podejście przyczyni się też do bardziej ekonomicznej gospodarki gazem ziemnym.

Przedstawione tu wyniki badań rozpoznawczych wykazały, że zasadne jest podjęcie bardziej gruntownych studiów dotyczących zagadnień zmiany wartości błędów gazomierzy w trakcie ich użytkowania.

4. BIBLIOGRAFIA

1. PN-EN 1359:2004/A1:2006. Gas meters –Diaphragm gas meters.
2. NSTU EN 1359:2006. Diaphragm gas meters. General specifications [Лічильники газу мембранні. Загальні технічні умови], (EN 1359:1998, IDT), (w języku ukraińskim).
3. O. Seredyuk, I. Kruk, V. V. Malisevich, Warszawa Z. L.: Transfer wartości wzorca w pomiarach przepływu gazu ziemnego. PAR (Pomiary Automatyka Robotyka) 12/2012, s. 173-180
4. O. Serdeyuk, I. Kruk, V. V. Malisevich, Warszawa Z. L.: Niekonwencjonalna metoda tworzenia transferu wartości wzorca przepływu gazu ziemnego. GWTS (Gaz Woda Technika Sanitarna) 2013 nr 1 s.7-13
5. Seredyuk O., Vynnychuk A., Warszawa Z.: Budowa, analiza i ocena niepewności pomiarów zestawu kalibracyjnego do sprawdzania gazomierzy u użytkownika, Pomiary Automatyka Kontrola, vol. 58, nr 1, 2012, s. 9-14.
6. Seredyuk O., Vitvitskiy L., Vynnychuk A., Warszawa Z. L.: Wyznaczanie parametrów metrologicznych gazomierza domowego bez jego demontażu. Instalator Polski nr 11, 2011, s. 44 -51.
7. Membranowe liczniki gazu. Katalog produkcji METRIX, Grupa APATOR. RU00022/2017 / www.apator.com.
8. Membranowy plynometry G4, G6 (tup PG), G1.6, G2.5, G4 (typ BK), Prospekt reklamowy firmy Premagas, 2000, 12 p.

STUDY OF MEASUREMENT ERRORS OF DIAPHRAGM GAS METERS AFTER SIX YEARS OF OPERATION

Description of the accuracy of diaphragm gas meters according to international standards and standards of Ukraine is given. Values of their measurement errors are classified in five ranges. The periodic calibration of these meters is proposed to improve the accuracy of the calculation of the natural gas supply. Statistical parameters of measurement of G4 gas meters manufactured in France, Poland and Ukraine were experimentally identified after six years of operation and their quantitative characteristics were determined. Research results justify the purpose of developing a new methodological approach involving the implementation of periodic calibration of the gas meter for low flow of natural gas, made in situ, also without dismantling.

Keywords: diaphragm gas meter, natural gas, work flow, measurement error.