ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1981
Seria : AUTOMATYKA z.60 Nr kol.

Stanisław WALUŚ
Instytut Automatyki
Politechnika Śląska

WARUNKI STOSOWANIA PRZEPŁYWOMIERZY ULTRADŹWIĘKOWYCH W GOSPODARCE WODNEJ

Streszczenie. W artykule przedstawiono parametry techniczne przepływomierzy ultradźwiękowych oraz wymagania, jakim powinno odpowiadać miejsce zabudowy przepływomierza w rurociągu. Podano sposób obliczania błędu związanego z montażem głowic oraz współczynnika K, charakteryzującego rozkład prędkości, od którego zależy czułość przepływomierza. W podsumowaniu zestawiono szereg zaleceń odnośnie stosowania przepływomierzy ultradźwiękowych w różnych warunkach w gospodarce wodnej oraz dotyczących eksploatacji tych przyrządów.

1. Wstęp

Celem artykułu jest podanie warunków, jakie winny być brane pod uwagę, aby przepływomierz ultradźwiękowy mógł być stosowany do pomiaru strumienia objętości wody w rurociągach dla potrzeb gospodarki wodnej. Podstawowe dane tych przepływomierzy są znane w literaturze [1,4,5,12] i szereg ich zalet [18] powoduje, że najlepiej nadają się do pomiaru strumienia objętości wody (szczególnie o dużych średnicach). Stosowanie ich nie przedstawia problemu o ile są instalowane w normalnych warunkach zabudowy [17], jednak często warunki te choćby niewiele odbiegają od normalnych. Instalowanie przepływomierzy ultradźwiękowych w tych warunkach wymaga bardziej szczegółowej analizy modelu matematycznego, a przede wszystkim uwzględnienia warunków zabudowy głowic (kształt i wymiary rurociągu, kształt rozkładu prędkości) oraz zastosowania starannie opracowanej techniki ich montażu.

2. Parametry techniczne przepływomierzy

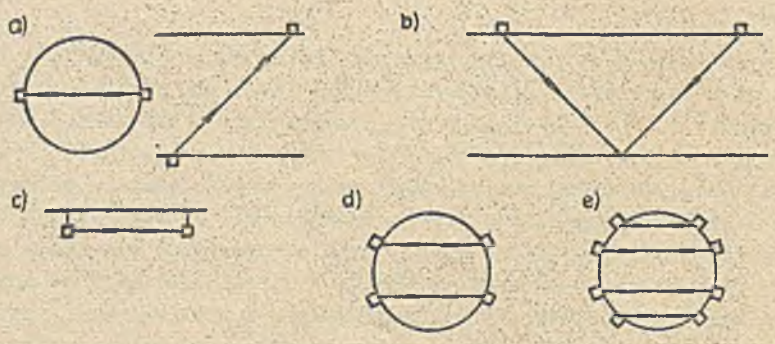
Do podstawowych danych charakteryzujących przepływomierze ultradźwiękowe zalicza się :

a) zasadę działania i rodzaj nośnika informacji o wielkości mierzonej,
b) liczbę dróg fali ultradźwiękowej i ich usytuowanie,
c) liczbę kanałów,
d) sposób montażu i konstrukcję głowic,

e) metodę wzorcowania przepływomierza.

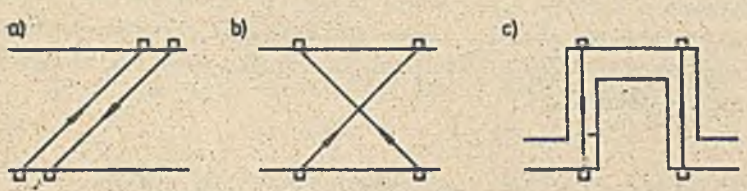
ad a) Znanych jest wiele zjawisk umożliwiających wykorzystanie ultradźwięków do pomiaru strumienia cieczy [11] . Najczęściej stosuje się zjawisko zmiany prędkości fali ultradźwiękowej w cieczy będącej w ruchu w stosunku do prędkości cieczy pozostającej w spoczynku. Nośnikiem informacji o strumieniu objętości może być różnica czasów, faz lub częstotliwości. W przypadku cieczy zawierających inną fazę (stałą lub gazową) rozpraszającą falę ultradźwiękową wykorzystuje się zjawisko Dopplera [7] . Inne zjawiska (unoszenia fali ultradźwiękowej, skorelowania szumów, ...) są rzadko wykorzystywane.

ad b) Najczęściej buduje się przepływomierze jednodrogowe, natomiast w celu zwiększenia dokładności czterodrogowe [10] i bardzo rzadko dwudrogowe [12] . Głowice montuje się prawie zawsze diametralnie i w płaszczyźnie horyzontalnej ze względu na osady na dole rurociągu oraz pęcherze gazu u góry, szczególnie przy małych prędkościach wody. Schematy usytuowania dróg pokazano na rys.1.



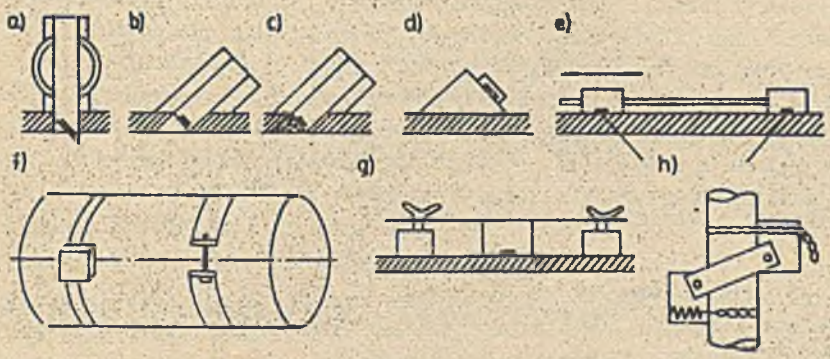
Rys.1. Usytuowanie dróg w przepływomierzach : a) jednodrogowym; b) jednodrogowym z wydłużeniem drogi ; c) jednodrogowym dla przepływu uwarstwionego ; d) dwudrogowym ; e) czterodrogowym.

ad c) Ze względu na liczbę kanałów wyróżnia się przepływomierze jednokanałowe (rys.1a) oraz dwukanałowe (rys.2) [14].



Rys.2. Przepływomierze dwukanałowe. a)kanały równoległe, b)kanały skrzyżowane, c)kanały szeregowe.

ad d) Rozróżnia się dwa sposoby montowania głowic : głowice nakładane na rurociąg [12] i wbudowane w ściankę rurociągu [8,9] . Dla głowic nakładanych błędy przepływomierza wynoszą 3 ÷ 5 [%] w porównaniu z błędem 1 ÷ 2 [%] dla przepływomierza z głowicami wbudowanymi w ściance [4] . Sposoby montowania głowic przedstawiono na rys. 3.



Rys.3. Sposoby montowania głowic: a)w ściance rurociągu pełnego, c) z kieszenią wypełnioną tworzywem, d) nakładana, e) nakładane po jednej stronie rurociągu, f) mocowane z zewnątrz za pomocą lin, g) przy pomocy magnesów, h) na rurociągach o małych średnicach - nie wymagające uprzedniego trasowania, b) z kieszenią wypełnioną wodą.

ad e) Wyróżnia się dwa sposoby wzorcowania : bezpośrednie i pośrednie. Bezpośrednie wykonuje się zwykle w stacji wzorcowania, rzadziej w miejscu zabudowy. Wzorcowanie pośrednie wykorzystuje prostotę modelu i możność pomiaru parametrów zabudowy przepływomierza (w odcinku rurociągu w laboratorium, lub głowic na rurociągu w warunkach polowych).

3. Wymagania odnośnie miejsca zabudowy i tolerancji montażu

Jedną z podstawowych zalet przepływomierza ultradźwiękowego jest możność stosowania tego przyrządu bez wzorcowania bezpośredniego. Możliwe to jest w normalnych warunkach zabudowy [17] . W praktyce nigdy nie jest możliwe zapewnienie tych warunków w takim stopniu, aby miały one nieznaczny wpływ na błąd przepływomierza.

Rurociąg w miejscu zabudowy przepływomierza powinien mieć przekrój kołowy o stałej powierzchni i oś rurociągu powinna być prosta, natomiast chropowatość wewnętrznej ścianki rurociągu musi być znana. Niespełnienie tych warunków będzie przyczyną błędów, których analizę przedstawiono w [19] . W przypadku zmiany przekroju rurociągu (wynikającej ze zmiany średnicy) można zawsze wybrać taki odcinek, na którym pole przekroju jest na tyle stałe, że wpływ tego źródła błędu można pominąć. O ile to jest możliwe, wartość błędu określa się na podstawie tablicy 1. Nieznajomość chropowatości będzie przyczyną błędów wyznaczania rozkładu prędkości. Często rurociąg nie ma przekroju kołowego i dobrym przybliżeniem jest traktowanie go jako mającego przekrój eliptyczny. W modelu przepływomierza występuje promień rurociągu i w instrukcji producenta [9] jest zalecenie obliczania promienia na podstawie zmierzonego taśmą obwodu L_z i obliczenie pola przekroju rurociągu wg wzoru

$$S = (L_z - g)^2 / 4\pi , \qquad /1/$$

gdzie : L_z - obwód zewnętrzny rurociągu, g - grubość ścianki rurociągu.

Pole przekroju można wyrazić przybliżonym wzorem

$$S \cong \sum_{i=1}^{n} \pi R_i^2 / n , \qquad /2/$$

gdzie : R_i - promień wewnętrzny w i-tym miejscu, n - liczba pól, na jakie dzieli się cały przekrój rurociągu.

Promień będący średnią z n pomiarów będzie wynosił

$$\bar{R} = \sum_{i=1}^{n} R_i/n \qquad /3/$$

Obliczając R na podstawie wzoru /2/ i korzystając z nierówności Czebyszewa

$$\left(\sum_{i=1}^{n} R_i\right)^2 \leqslant n \sum_{i=1}^{n} R_i^2 \qquad /4/$$

wynika, że pole obliczone na podstawie wzoru /3/ jest nie większe od rzeczywistego (równe dla koła). W przypadku deformacji rurociągu obwód zostaje ten sam, natomiast powierzchnia się zmniejsza, wobec tego nie można stosować wzoru /1/, lecz należy dokonać serii pomiarów średnicy D_{zi} i obliczyć średnią zgodnie ze wzorem /2/. Za miarę zniekształcenia przyjmuje się stosunek długości osi elipsy e . Na podstawie pomiarów wykonanych dla rurociągów o średnicach 0,4 , 1 i 1,2 [m] stwierdzono, że w praktycznych warunkach zarówno podczas instalowania, jak i szacowania błędu czynnik ten należy uwzględnić.

Błąd względny pomiaru strumienia objętości zależy nie tylko od zniekształcenia rurociągu, ale i miejsca zainstalowania głowic

$$\delta_{\Delta t} = \frac{1{,}5\,(1+e) - \sqrt{e}}{2\left[1 - (1-e^2)\cos^2\vartheta\right]^{1/2}} - 1\,, \qquad /5/$$

gdzie : ϑ - kąt między drogą fali ultradźwiękowej a półosią wielką rurociągu.

Ze wzoru /5/ wynika, że dla każdej wartości e istnieje taka wartość ϑ , że $\delta_{\Delta t} = 0$.

Nawet najbardziej staranny montaż głowic przepływomierza nie zapewni zgodności charakterystyki rzeczywistej z modelem przepływomierza. Błąd zakresowy graniczny przepływomierza związany z montażem głowic można wyrazić wzorem [19]

$$\delta_{zm} = \sqrt{\delta_{zh}^2 + \delta_{z\gamma}^2 + \delta_{zd}^2 + \delta_{z\varphi}^2 + \delta_{z\eta}^2}\,, \qquad /6/$$

gdzie : δ_{zh} - graniczny błąd zakresowy wskutek niepewności poosiowego ustawienia sond w głowicach,

$\delta_{z\gamma}$ - graniczny błąd zakresowy wynikający z kątowego względnego przesunięcia głowicy,

δ_{zd} - graniczny błąd zakresowy odpowiadający względnemu prze-

sunięciu głowic wzdłuż osi rurociągu,

$\delta_{z\varphi}$ - graniczny błąd zakresowy spowodowany obrotem sondy w głowicy,

$\delta_{z\eta}$ - graniczny błąd zakresowy wynikający z nieprostopadłego zamocowania głowic w rurociągu.

Przykładową ocenę błędów związanych z warunkami zabudowy i montażem podano w tablicy 1. Wartości współczynników obliczono dla rurociągu o średnicy 0,4 [m] i dla strumienia o objętości 0,236 [m^3/s] .

4. Wpływ rozkładu prędkości

Wielkość mierzona, strumień objętości S_q proporcjonalne do prędkości średniej v_S wody po przekroju rurociągu, natomiast wskazania przepływomierza są proporcjonalne do prędkości średniej wody po drodze fali ultradźwiękowej v_l . Wprowadza się współczynnik K uwzględniający charakter przepływu

$$K = v_S / v_l . \qquad /7/$$

Wartość tego współczynnika dla przepływu uwarstwionego wynosi 0,75, natomiast dla burzliwego zależy od chropowatości względnej rurociągu oraz liczby Reynoldsa. Rozkład prędkości dla przepływu burzliwego opisuje przybliżony wzór potęgowy Prandtla [15]

$$v = v_m (1 - r/R)^{1/n} , \qquad /8/$$

gdzie : v_m - prędkość maksymalna w osi rurociągu, r - promień bieżący, n - liczba zależna od liczby Re i chropowatości rurociągu.

Po obliczeniu v_l i v_S na podstawie wzoru /8/ otrzymuje się

$$K = 2n / (2n+1). \qquad /9/$$

Na podstawie danych z literatury [2 , 15] obliczono prostą aproksymującą dla Re $\in (10^5 \div 10^7)$

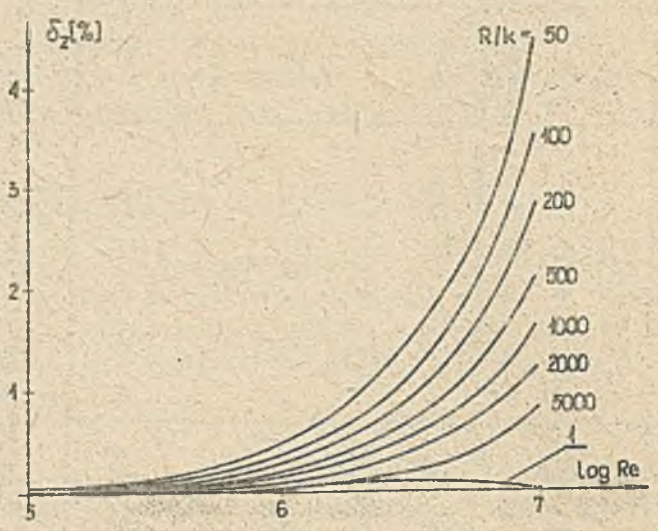
$$n = 2,25 \log Re - 2,85 . \qquad /10/$$

W przypadku rur szorstkich podano w [2] , że n=6 , natomiast w [16] podano $n = 4 \div 5$. W wyniku dokładnych obliczeń przeprowadzonych w [19] uzyskano $n = 4 \div 9$, wobec tego stosowanie wzoru uproszczonego /9/ jest niecelowe. Podobnie dla strefy przejściowej K należy obliczać wg wzoru dokładnego. W [19] sporządzono nomogram do obliczania K i na jego podstawie dla liczb Re $\in \langle 10 , 10^7 \rangle$ oraz chropowatości względnych $R / k \in \langle 50 , 5000 \rangle$ obliczono błędy przy założeniu, że przyjęto powierzchnię wewnętrzną rurociągu jako gładką. Na rys.4 przedstawiono zależność

Lp.	Źródło błędu	Błąd zakresowy [%]	Wartość wielkości i-tej dla δ_{zi} = 0,05 [%]	Możl. pom.	Możl. kor.
1.	Eliptyczność rurociągu (e)	$\delta_{ze} = -50\ \Delta e$	$\Delta e = 0{,}001$	nie	tak
2.	Zmiana średn. rurociągu (D/D_1)	$\delta_{zD} = 0{,}02 \frac{\Delta D}{D_1}$	$\Delta(D/D_1) = 0{,}00025$	nie	tak
3.	Niepewność chropowatości rurociągu (k [mm])	$\delta_{zk} = 4\ \Delta k$	$\Delta k = 0{,}013$ [mm]	nie	tak
4.	Niepewność umiejscowienia sondy w głowicy (h [m])	$\delta_{zh} = -250\ \Delta h$	$\Delta h = 2.10^{-4}$ [m]	nie	nie
5.	Niepewność umiejscowienia głowicy po obwodzie rurociągu (γ [rad])	$\delta_{z\gamma} = 0{,}46\ \Delta\gamma$	$\Delta\gamma = 0{,}1$ [rad]	tak	nie
6.	Niepewność umiejscowienia głowicy wzdłuż osi rurociągu (d [m])	$\delta_{zd} = -250\ \Delta d$	$\Delta d = 2.10^{-4}$ [m]	nie	nie
7.	Niepewność zamocowania głowicy prost. do rurociągu (η [rad])	$\delta_{z\eta} = 50\ \Delta\eta$	$\Delta\eta = 10^{-3}$ [rad]	nie	nie
8.	Niepewność kąta zamocowania sondy w głowicy (φ [rad])	$\delta_{z\varphi} = -2{,}5\ \Delta\varphi$	$\Delta\varphi = 0{,}02$ [rad]	tak	nie

Tablica 1. Ocena źródeł błędów przepływomierza ultradźwiękowego związanych z warunkami i niedokładnością zabudowy głowic

błędu zakresowego przy przyjętym zakresie pomiarowym odpowiadającym liczbie Reynoldsa $Re = 10^7$.



Rys.4. Błąd nieliniowości odniesiony do końca zakresu pomiarowego ($Re = 10^7$) w zależności od chropowatości względnej i wielkości mierzonej (wyrażonej liczbą Re) : 1 - błąd dla rury hydraulicznie gładkiej.

Jak widać z wykresu na rys.4 - w przypadku nieznajomości chropowatości bezwzględnej k (a tym samym rozkładu prędkości) błędy przepływomierza mogą być znaczne. Wobec tego zachodzi potrzeba stosowania innych metod wyznaczania k, niż na podstawie danych k z normy [13] lub poradnika [20] .

W przypadku braku danych o chropowatości k współczynnik K można obliczyć na podstawie znajomości rozkładu prędkości w płaszczyźnie głowic na podstawie wzoru /9/, zaś n na podstawie wzoru /8/

$$1/n = \log (v/v_m) / \log (1 - r/R). \qquad /11/$$

Do obliczeń n należy brać punkty, dla których $v < 0,7\, v_m$ [6] . W wielu przypadkach wskutek zniekształcenia rozkładu prędkości współczynnik K nie może być wyznaczany tylko na podstawie liczby Re i chropowatości k . Przykładowo dla rurociągu o średnicy 1,2 [m] obliczono K_1 na podstawie próbki rurociągu. Następnie obliczono K_2 w dwóch punktach na podstawie wzorów /9/ i /11/. Wyniki pomiaru rozkładu prędkości aproksymowano funkcją :

$$v = v_{oS}\left\{(1 - r/R)^{1/n} + m_1 (r/R)^2 \sin\vartheta\left[1(\vartheta) - 1(\vartheta-\pi)\right] + m_2 (1 - r/R) r/R \sin\vartheta\left[1(\vartheta-\pi) - 1(\vartheta - 2\pi)\right]\right\}, \qquad /12/$$

gdzie : m_1 i m_2 - parametry estymowane na podstawie danych doświadczalnych.

Korzystając z wyznaczonej funkcji obliczono K_3 dla horyzontalnego i K_4 dla wertykalnego usytuowania głowic i przedstawiono je w tabl.2. K_5 jest wartością rzeczywistą współczynnika K , obliczoną na podstawie zmierzonego rozkładu prędkości. Z analizy danych wynika, że rozbieżności wartości współczynników K są na tyle duże, że ustalenie K w miejscu instalowania przepływomierza nie może być dokonane na podstawie instrukcji fabrycznych [9] .

Punkt	k_1	k_2	k_3	k_4	k_5
A	0,952	0,943	0,945	0,979	0,921
B		0,939	0,955	0,97	0,940

Tablica 2. Wartości współczynnika K obliczone różnymi metodami.

Główną przyczyną zniekształcenia rozkładu prędkości są elementy dławiące przed i za miejscem zainstalowania przepływomierza. Zwykle podaje się, jakie winny być długości odcinków prostoliniowych przed i za przepływomierzem. W katalogach firmowych podane są różne wymagania, np.(4÷5)D oraz 2D (przed i za przepływomierzem)[9] , 50 D oraz 5 D za kolanem i 70 D oraz 5 D za dwoma kolanami w różnych płaszczyznach [10]. Wymagania poprawnego pomiaru rozkładu prędkości mogą stanowić tutaj pewne wskazania dla długości odcinków (20 D oraz 5 D) [6] . E.Hoene podaje [5], że dla przepływomierzy ultradźwiękowych długość prostych odcinków przed i za przepływomierzem powinna być podobna, jak dla kryz i zwężek Venturiego. Dla przepływomierzy ultradźwiękowych nie ma określonych dostatecznie jednoznacznie wymagań odnośnie do długości prostych odcinków pomiarowych rurociągu bądź wymagań odnośnie do rozkładu prędkości [3] . W takiej sytuacji w każdym przypadku, gdzie zachodzi podejrzenie, że rozkład prędkości nie jest symetryczny, należy doświadczalnie wyznaczyć współczynnik K .

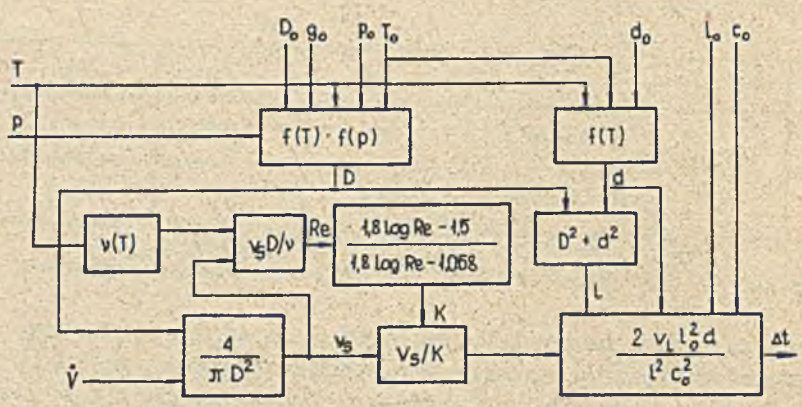
5. Eksploatacja przepływomierzy ultradźwiękowych

W przepływomierzu, którego sygnał wyjściowy jest proporcjonalny do różnicy czasów, istnieje silna zależność tego sygnału od temperatury wody powodująca błąd, który musi być kompensowany [19]

$$\delta_{\Delta t} = -0{,}75\ \Delta T\ [\%]\ , \qquad /13/$$

gdzie ΔT – odchyłka temperatury wody od nominalnej (jaka została przyjęta podczas wzorcowania pośredniego).

Temperatura wpływa również na liczbę Re i wymiary rurociągu. Dodatkowo na sygnał wyjściowy przepływomierza wpływa ciśnienie p w rurociągu. Na rys.5 przedstawiono wpływ tych wielkości w przepływomierzu z korekcją prędkości fali ultradźwiękowej c dla rury hydraulicznie gładkiej [19].



Rys.5. Wpływ temperatury i ciśnienia na sygnał wyjściowy przepływomierza z korekcją c dla rury hydraulicznie gładkiej. Znaczek o oznacza warunki odniesienia. Funkcje w blokach określone są wzorami :

lepkość kinetyczna

$$\nu = 7{,}20.10^{-10}T^2 - 4{,}4534.10^{-3}T + 6{,}9677.10^{-5}, \qquad /14/$$

prędkość fali ultradźwiękowej w wodzie

$$c = -0{,}051T^2 + 32{,}8613\ T - 3768{,}21 + 0{,}16.10^{-5}p, \qquad /15/$$

natomiast :

$$f(T) = 1 - 1{,}174.10^{-5}\ (T-T_o)\ ,\quad T\ [k], \qquad /16/$$

$$f(p) = 1 - 0{,}12136.10^{-11}\ (2D_o/g_o - 1)(p - p_o),\quad p\ [Pa]. \qquad /17/$$

W przepływomierzu z korekcją c dla praktycznie występujących zmian T i p błędy dodatkowe od tych wielkości mogą być pominięte.

Warunkiem stosowania przepływomierza jest niezmienność jego charakterystyki w czasie. Ze względu na możliwość termostatyzacji przetwornika

pomiarowego i dobre obecnie parametry elementów elektronicznych błąd niestałości może być pomięty (np. dla konkretnego przetwornika [9] w ciągu 30 dni wynosił on 0,2 [%]). Błąd wynikający z montażu głowic dla konkretnego przypadku będzie miał charakter systematyczny. Niestałość będzie związana również ze zmianą chropowatości wewnętrznej ścianki rurociągu k, co w przypadku początkowego okresu eksploatacji rurociągu wymaga okresowego wyznaczania współczynnika K .

6. Podsumowanie

W celu prawidłowego stosowania przepływomierzy ultradźwiękowych w gospodarce wodnej należy się kierować następującymi uwagami :

1. Obecnie produkowane przepływomierze ultradźwiękowe zapewniają spełnienie praktycznie każdych wymagań związanych z warunkami zabudowy oraz czystością wody.
2. W olbrzymiej większości przypadków można stosować przepływomierz jednodrogowy, wzorcowany metodą pośrednią, uzyskując dokładność 1 ÷ 2[%], natomiast dla uzyskania większej dokładności (0,1[%]) stosuje się przepływomierze czterodrogowe.
3. Aby ograniczyć składową błędu całkowitego spowodowaną montażem przepływomierza na rurociągu wymagany jest bardzo staranny montaż głowic, a w szczególności ważne jest umiejscowienie głowic w odpowiedniej odległości po osi rurociągu, prostopadle do jego ścianki oraz sondy w głowicy na właściwej głębokości.
4. Wartość współczynnika K , który decyduje o czułości przepływomierza, można wyznaczyć na podstawie chropowatości rurociągu w przypadku osiowo-symetrycznego rozkładu prędkości.
5. Ponieważ nie ma dotychczas danych, jakie powinny być długości odcinków prostych rurociągu przed i za przepływomierzem (jak to jest podane dla przepływomierzy zwężkowych) należy przyjmować wymagania maksymalne dla zwężek. O ile to jest niemożliwe, oblicza się wartość współczynnika K na podstawie doświadczalnie wyznaczonego rozkładu prędkości.
6. W przypadku rurociągu zmiekształconego wymagane są bardzo dokładne jego pomiary i dla przekroju o kształcie elipsy istnieje taki kąt zainstalowania głowic, przy którym sygnał wyjściowy będzie taki sam, jak dla rurociągu o przekroju kołowym.
7. Przepływomierz raz zabudowany i wywzorcowany (metodą bezpośrednią lub pośrednią) będzie długo zachowywał swoją dokładność o ile kształt rozkładu prędkości nie będzie się zmieniał i będą zachowane przeciętne wartości temperatury i ciśnienia wody, jakie występują w gospodarce wodnej.
8. Zaleca się w początkowym okresie eksploatacji przepływomierza spraw-

dzać przetwornik pomiarowy raz na miesiąc i raz na rok rozkład prędkości (w nowych rurociągach częściej ze względu na zmiany chropowatości). Każda zmiana geometrii odcinka przed i za przepływomierzem w granicach odpowiednio 50 i 10 średnic wymaga sprawdzenia aktualnej wartości współczynnika K .

4. Literatura

[1] BIRGER G.I., BRAZNIKOW N.T. : Ultrazwukowye raschodomery. Metallurgija, Moskwa 1964.

[2] BUKOWSKI J. : Mechanika płynów. PWN, Warszawa 1968.

[3] GARSIN P.A., SMIRNOW P.E., TUPICENKOW A.A. : Gidrodynamiceskie faktory pri izmerenii raschoda. Izmieritelnaja Technika, 1979, nr 8.

[4] HALL J. : Flowmeters-matching applications and devices. Instr. and Contr. Syst., 1978, vol51, nr 2.

[5] HOENE E. : Ultrasonic flowmeter. Proceedings of FLOMEKO, 1978, North Holland Publ.Comp., Amsterdam-New York, Oxford 1978, s.147-151.

[6] ISO 3966-1977 (E). Measurement of fluid flow in closed conduits - Velocity area method using Pitot static tubes.

[7] Katalog firmy Bestobell Neterflow Ltd (GB).

[8] Katalog firmy NUSonics Inc. (USA).

[9] Katalogi firmy Ultraflux (Francja).

[10] Katalog firmy Westinghouse Electric Corporation (USA).

[11] LIPTAK B.G., Kamiński R.K.; Ultrasonic instruments for level and flow Instrum. Technol.,1974, vol.21, nr 9.

[12] MORRIS H.M. : What's Available in Ultrasonic Flowmeters. Control Engineering, 1979, nr 8.

[13] PN-65/M-53950. Pomiar natężenia przepływu płynów za pomocą zwężek. WN, Warszawa 1968.

[14] SCHROEDER A. : Durchflussmesstechnik - eine Ubersicht. Technisches Messen, 1979, nr 4.

[15] TROSKOLAŃSKI A.T. : Hydromechanika, WNT, Warszawa 1967.

[16] WALDEN H., STASIAK I. : Mechanika cieczy i gazów. Cz.I, PWN, W-wa 1969.

[17] WALUŚ S. : Analityczne wzorcowanie przepływomierza ultradźwiękowego w normalnych warunkach zabudowy. Zesz.Nauk.Polit.Śl.,Automatyka, zesz. 52, 1980.

[18] WALUŚ S. : Przepływomierze ultradźwiękowe - własności metrologiczne PAK, 1978, nr 1.

[19] WALUŚ S. : Wyznaczanie własności metrologicznych przepływomierzy ultradźwiękowych na podstawie modelu matematycznego. Praca doktorska. Instytut Automatyki Politechniki Śląskiej, Gliwice 1980.

[20] Wodociągi i kanalizacja. Poradnik. Arkady, W-wa 1971.

УСЛОВИЯ ПРИМЕНЕНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ РАСХОДОМЕРОВ В ВОДНО-ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМАХ

Резюме :

В статье продставлено технические параметры ультразвуковых расходометров а также требования к месту застройки расходомера в трубопровод. Подано способ расчёта погрешности вытекающей из монтажа измерительных головок а также коэффициента К характеризующего распределение скоростей, от которого зависит чувствительность расходомера. В заключению составлено ряд указаний по применению ультразвуковых расходомеров в различных условиях в водном хозяйстве а также по эксплуатации этих приборов.

CONDITIONS OF USE OF ULTRASONIC FLOWMETERS IN THE WATER ECONOMY

Abstract

The technical parameters of the ultrasonic flowmeters and the requirements towards their instalation are being presented in the paper. There is shown the way of computing the instalation error and the way of computing of the coefficient K which define the sensitivity of the flowmeter.

Some recommendations towards application and utilization of the ultrasonic flowmeters in the water economy are also put forward.