

Pomiary pulsującego strumienia płynu (3)

Możliwości stłumienia pulsacji podczas stosowania przepływomierzy zwężkowych do pomiaru pulsującego strumienia płynu

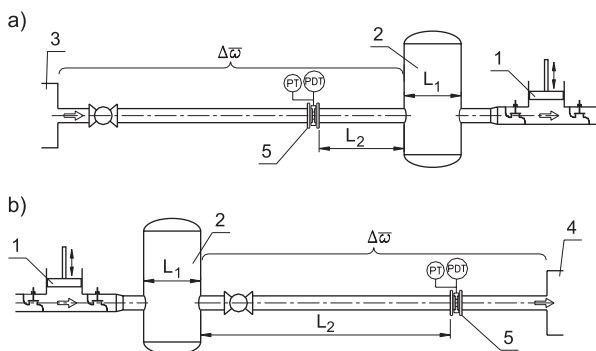
Mateusz Turkowski *

W niniejszym, 3. artykule z cyklu o pomiarach przepływów pulsujących jest kontynuowane omawianie problemów pomiaru tych przepływów przy zastosowaniu przepływomierzy zwężkowych, rozpoczęte w artykule [3]. Przedstawiono tu sposoby zmniejszenia amplitudy pulsacji poprzez zastosowanie różnego rodzaju układów tłumiących. Podano zasady obliczeń takich układów dla cieczy i gazów, przyjmując jako kryterium m.in. dopuszczalny resztowy błąd spowodowany pulsacjami. Podobnie jak w artykułach [2, 3] oparto się w dużym stopniu na Raporcie Technicznym ISO [1].

Proste układy tłumiące dla gazów

Pulsacje w gazach lub parach mogą być wytłumione za pomocą prostego zestawu pojemności i elementu dławiącego umieszczonych między źródłem pulsacji a przepływomierzem (rys. 1). Przez pojemność tłumiącą rozumie się pojemność zbiornika i przylegających do niego odcinków rurociągu. Długości elementów powinny być małe w porównaniu z długością fali pulsacji. Dławienie może być realizowane przez sam przepływomierz lub może być zwiększone za pomocą zaworów lub innych kształtek.

Straty na tarcie w rurach mogą również stanowić wkład w dławienie. Proste odcinki między zwężką



Rys. 1. Schemat układu do tłumienia pulsacji dla gazów i par. a – źródło pulsacji za zwężką, b – źródło pulsacji przed zwężką; 1 – źródło pulsacji, 2 – zbiornik tłumiący, 3 – źródło gazu/pary, 4 – odbiornik gazu/pary, 5 – zwężka z przetwornikiem różnicy ciśnień i ciśnienia

* dr hab. inż. Mateusz Turkowski
– Instytut Metrologii i Systemów Pomiarowych,
Politechnika Warszawska

a innym elementem dławiącym muszą być zgodne z wymaganiami [4]. Należy upewnić się, czy organ dławiący sam nie jest źródłem oscylacji hydrodynamicznych.

Parametrem, który stanowi kryterium odpowiedniego tłumienia pulsacji przy przepływie gazu jest liczba Hodgsona:

$$Ho = \frac{V}{q_v/f} \frac{\Delta p}{p} \quad (1)$$

gdzie V – pojemność tłumika pulsacji wraz z przyległymi odcinkami rurociągu, q_v/f – uśredniona w czasie objętość przepływająca w trakcie jednego cyklu pulsacji, Δp – całkowita strata ciśnienia między tłumikiem a źródłem pulsacji przy stałym ciśnieniu, p – średnie ciśnienie absolutne w tłumiku pulsacji.

Tłumienie będzie do zaakceptowania, jeżeli

$$\frac{Ho}{\kappa} \geq \frac{1}{4\pi\sqrt{2}} \frac{1}{\sqrt{E_{dop}}} \frac{q'_{mo,rms}}{q_m} \quad (2)$$

gdzie κ – wykładnik izentropy gazu (pary), $q'_{mo,rms}$ – wartość skuteczna składowej zmiennej strumienia masy mierzona u źródła pulsacji, \bar{q}_m – uśredniony w czasie strumień masy, E_{dop} – maksymalny dopuszczalny błąd wskazanego strumienia spowodowany pulsacjami.

Amplituda pulsacji może być wyrażona w kategoriach strumienia objętości, strumienia masy lub prędkości średniej, wówczas

$$\frac{q'_{mo,rms}}{q_m} = \frac{q'_{vo,rms}}{q_v} = \frac{U'_{o,rms}}{U} \quad (3)$$

Wyprowadzone kryterium poprawnego tłumienia pulsacji jest ważne tylko wówczas, gdy wymiary komory tłumiącej i długości rurociągów między komorą tłumiącą a przepływomierzem są małe w porównaniu z długością fali pulsacji. Można przyjąć następujące wytyczne:

- a) Długość zbiornika tłumiącego L_1 powinna być nie większa niż $1/10$ długości fali pulsacji. Graniczna częstotliwość jest wówczas dana wzorem

$$f_p < \frac{c}{10L_1}$$

gdzie c jest prędkością dźwięku.

- b) Długość rury L_2 między przepływomierzem a tłumikiem pulsacji powinna być nie większa niż $1/5$ długości fali pulsacji. Musi być więc spełniony warunek

$$f_p < \frac{c}{5L_2}$$

Trzeba zauważyć, że warunkiem zastosowania kryterium poprawności tłumienia jest dysponowanie wartością nietłumionej amplitudy pulsacji U'_{rms}/\bar{U} . Musi być ona zmierzona blisko zbiornika układu tłumiącego po stronie źródła pulsacji. Jeśli wartość ta będzie tylko oszacowana, to zaleca się dla bezpieczeństwa przyjęcie mnożnika równego 2 dla obliczonej liczby Hodgsona.

Dwukomorowy tłumik pulsacji przepływu gazu z rurą dławiącą

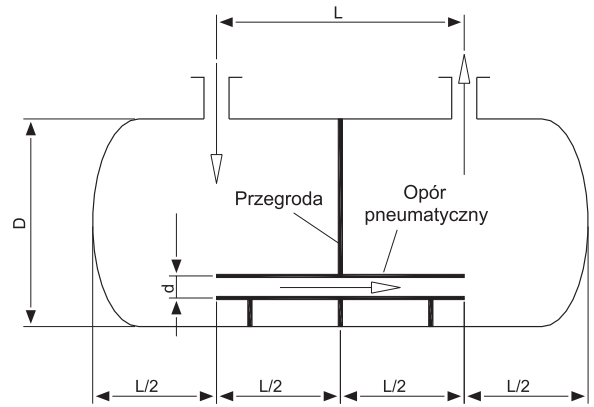
Tłumik tego rodzaju przedstawiono na rys. 2. Współczynnik opisujący tłumienie pulsacji przy zastosowaniu tego układu poprzez analogie elektryczno-akustyczne, patrz np. [5] dany jest wzorem

$$\mu = \frac{(U'_{rms}/\bar{U}_{tłumione})}{(U'_{rms}/\bar{U}_{nietłumione})} = \frac{1}{\left\{ \left[1 - 3\left(\frac{\omega}{\omega_o}\right)^2 + \left(\frac{\omega}{\omega_o}\right)^4 \right] + \left(\frac{2\pi Ho}{\kappa}\right)^2 \left[2 - \left(\frac{\omega}{\omega_o}\right)^2 \right]^2 \right\}^{1/2}} \quad (4)$$

gdzie $\omega = 2\pi f$ jest kołową częstotliwością pulsacji a ω_o - kołową częstotliwością rezonansową połowy podzielonego tłumika,

$$\omega_o = \frac{1}{\left(\frac{\rho l_c V}{2A_c}\right)^{1/2}}$$

gdzie l_c, A_c są długością i polem przekroju poprzecznego rury dławiącej, V - całkowitą pojemnością tłumika pulsacji.



Rys. 2. Schemat dwukomorowego zbiornika tłumiącego pulsacje przepływu gazu z oporem pneumatycznym

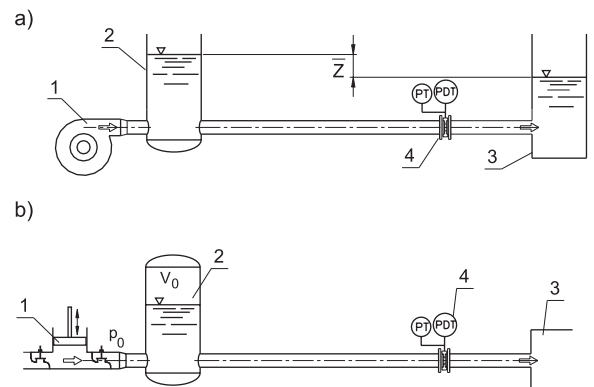
Równoważne równanie na współczynnik tłumienia pulsacji dla pojedynczej pojemności tłumiącej opisanej w p. 1 (rys. 1) ma postać

$$\mu = \frac{1}{\left\{ \left[1 - \left(\frac{\omega}{\omega_o}\right)^2 \right]^2 + \left(\frac{4\pi Ho}{\kappa}\right)^2 \right\}^{1/2}} \quad (5)$$

Powyższe równania mogą być stosowane, gdy wymiary tłumików i długości odcinków rur między tłumikiem a źródłem pulsacji i przepływomierzem są małe w porównaniu z długością fali pulsacji. W przeciwnym przypadku niezbędna jest dokładniejsza analiza [6].

Tłumiki pulsacji dla cieczy

Pulsacje przepływu cieczy można wytłumić przy zastosowaniu zbiornika wyrównawczego (rys. 3 a) dla układów beczniennowych lub zbiornika z poduszką powietrzną (rys. 3 b) zainstalowanego między źródłem pulsacji a zwężką. Rys. 3 przedstawia sytuację, gdy źródło pulsacji jest po stronie dopływowej, ale



Rys. 3. Schemat układu do tłumienia pulsacji dla cieczy, źródło pulsacji przed zwężką. a - układ otwarty, b - układ ciśnieniowy; 1 - źródło pulsacji, 2 - zbiornik tłumiący, 3 - odbiornik cieczy, 4 - zwężka z przetwornikiem różnicy ciśnień

równie dobrze można ten układ zastosować dla źródła pulsacji po stronie odpływowej.

Kryterium odpowiedniego tłumienia dla zbiornika wyrównawczego jest następujące:

$$\frac{\bar{Z}A}{\bar{q}_v/f} \geq \frac{1}{4\pi\sqrt{2}} \frac{1}{\sqrt{\varphi}} \frac{q'_{vo,rms}}{\bar{q}_v} \quad (6)$$

gdzie \bar{Z} jest uśrednioną w czasie różnicą poziomów cieczy między zbiornikiem wyrównawczym a zbiornikiem o stałym poziomie, A - przekrojem poprzecznym zbiornika wyrównawczego.

Kryterium właściwego tłumienia dla układu z poduszką powietrzną jest następujące:

$$\frac{1}{\kappa} \frac{V_0}{\bar{q}_v/f} \frac{\Delta\bar{w}}{p_0} \frac{1}{(1+V_0\rho g/p_0\kappa A)} \geq \frac{1}{4\pi\sqrt{2}} \frac{1}{\sqrt{\varphi}} \frac{q'_{vo,rms}}{\bar{q}_v} \quad (7)$$

gdzie V_0 jest pojemnością poduszki powietrznej, κ - wykładnikiem izentropy, ρ - gęstością cieczy, p_0 - średnim ciśnieniem statycznym u źródła pulsacji, g - przyspieszeniem siły ciężkości, A - polem powierzchni swobodnej poduszki powietrznej, $\Delta\bar{w}$ - wartością średnią różnicy ciśnień między poduszką powietrzną a zbiornikiem o stałym ciśnieniu.

Bibliografia

1. ISO CD TR 3313:1997 - *The effect of flow pulsation on flow measuring instruments: orifice plates, nozzles or Venturi tubes, turbine and vortex flow meters.*
2. M. Turkowski, *Pomiary pulsującego strumienia płynu – stan wiedzy, rozwiązania i wskazówki praktyczne* (1), PAR 10/2005, s. 8.
3. M. Turkowski, *Pomiary pulsującego strumienia płynu* (2). *Przepływomierze zwężkowe*, PAR 11/2005, s. 10.
4. PN-EN ISO 5167-1: *Pomiary strumienia płynu za pomocą zwężek pomiarowych wbudowanych w całkowicie wypełnione rurociągi o przekroju kołowym. Część 1: Zasady i wymagania ogólne.*
5. R.C. Mottram, *Damping criteria for pulsating gas flow measurement. Flow Measurement and Instrumentation*, Vol. 1, No 1 (1989), pp. 15 - 23.
6. L.E. Blodgett, *Theoretical and practical design of pulsation damping system. Flow Measurement and Instrumentation*, 12 (2001), pp. 203 - 208.

REKLAMA

Zacznij dzień od ...



... dobrej strony



WWW.AUTOMATYKAONLINE.PL

WORTAL AUTOMATYKI PRZEMYSŁOWEJ

AutomatykaOnLine.pl

Redakcja Wortalu AutomatykaOnLine
ul. Puławska 303, 02-785 Warszawa
tel./fax (22) 734-03-67 kom. 508-399-455
redakcja@automatykaonline.pl

www.AutomatykaOnLine.pl