

Otylia PASECKA

BŁĄD TEMPERATUROWY PRZEPŁYWIOMIERZA CIEPLNEGO BEZKONTAKTOWEGO

Streszczenie. W artykule przedstawiono zasadę działania oraz ogólną postać równania przetwarzania przepływomierza cieplnego bezkontaktowego typu termoanemometrycznego. Zasada działania tego typu przepływomierza polega na ochłodzeniu grzejnika przez przepływający płyn. Wielkością wyjściową jest różnica temperatur mierzona za pomocą termometrów elektrycznych, z których jeden umieszczony jest na grzejniku, a drugi przed grzejnikiem.

Przeprowadzono analizę wpływu temperatury płynu na wielkość wyjściową przepływomierza. Wyznaczono teoretycznie i eksperymentalnie wartość błędu temperaturowego dla wody. Wykazano, że pomiar różnicy temperatur na grzejniku i przed grzejnikiem nie kompensuje całkowicie wpływu zmian temperatury przepływającego płynu. Występuje dodatkowy błąd, który należy uwzględnić w czasie pomiarów. Liniowa zależność tego błędu od temperatury daje możliwość projektowania układów z całkowitą kompensacją wpływu zmian temperatury płynu.

1. Wstęp

Przepływomierze cieplne bezkontaktowe stosowane są do pomiaru przepływu płynów w zakresie przepływów laminarnych i turbulentnych. Ich zaletą jest brak kontaktu z przepływającym płynem. Wielkość wyjściowa tego typu przepływomierzy zależy od parametrów fizycznych przepływającego płynu. Dlatego mogą być stosowane wyłącznie do pomiaru przepływu płynów o stałym składzie chemicznym [1].

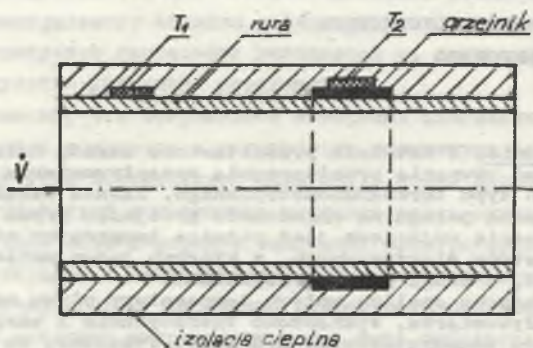
Przepływomierze cieplne bezkontaktowe można podzielić na dwa podstawowe typy: kalorymetryczne i termoanemometryczne [3, 4].

W artykule przedstawiono na przykładzie przepływomierza cieplnego bezkontaktowego typu termoanemometrycznego wpływ temperatury płynu na wielkość wyjściową przepływomierza. Dla przepływomierzy kalorymetrycznych wpływ ten jest podobny.

2. Opis przepływomierza

Przepływomierz cieplny bezkontaktowy termoanemometryczny stanowi wydzielony odcinek rurociągu. Na zewnątrz cienkościennej rury (rys. 1) wykonanej z materiału o dużej konduktywności cieplnej znajduje się grzejnik elektryczny. Rura jest izolowana cieplnie od otoczenia. Długość grzejnika

powinna być możliwie mała, a całkowita moc cieplna dostarczona do płynu tak dobrana, że praktycznie nie występuje zjawisko nagrzewania płynu. Zasada działania tego typu przepływomierza polega na ochłodzeniu grzejnika przez przepływający płyn.



Rys. 1. Schemat przepływomierza cieplnego bezkontaktowego

Fig. 1. Scheme of contactless thermal flow-meter

Wielkością wyjściową jest różnica temperatur mierzona za pomocą termometrów elektrycznych \$T_2\$ i \$T_1\$. Termometr \$T_2\$ umieszczony jest na grzejniku, a termometr \$T_1\$ powinien być umieszczony w odległości zapewniającej pomiar temperatury płynu.

Ogólna postać równania przetwarzania dla przepływu laminarnego określona jest układem równań: [3, 4]

$$\theta = \vartheta_2 - \vartheta_1 = \frac{P}{\pi r_w \lambda_p} \cdot \frac{1}{2L Nu} [1 - \exp(-\sqrt{k} Nu L)] \quad (1)$$

$$Nu = 1,86 Re^{0,33} Pr^{0,33} L^{-0,33} \quad (2)$$

$$Re = \frac{2 \dot{V} \rho_p}{\pi r_w \eta_p}; \quad Pr = \frac{c_p \eta_p}{\lambda_p} \quad (3)$$

Równanie (1) otrzymuje się z funkcji rozkładu temperatury wzdłuż osi rury po uwzględnieniu miejsca umieszczenia termometru \$T_2\$, równanie (2) jest równaniem kryterialnym określającym wymianę ciepła [2], przy czym:

\$Nu, Re, Pr\$ - liczby: Nusselta, Reynoldsa, Prandtla,

\$\lambda, \lambda_p\$ - konduktywności cieplne rury i płynu,

\$\rho_p, c_p, \eta_p\$ - gęstość, ciepło właściwe, lepkość dynamiczna płynu,

\$\theta = \vartheta_2 - \vartheta_1\$ - różnica temperatur,

\$P\$ - moc grzejnika,

\$r_w, r_z, l\$ - promienie rury, długość grzejnika,

$$L = \frac{1}{r_w}; \quad k = \frac{\lambda_p}{\lambda} \frac{r_w^2}{r_z^2 - r_w^2}. \quad (4)$$

Równanie przetwarzania $\Theta = f(\dot{V})$ przy $P = \text{const}$ ma charakter nieliniowy. Dla małych zakresów przepływu może być aproksymowane linią prostą.

3. Wpływ temperatury początkowej płynu

W celu określenia wpływu temperatury początkowej płynu ϑ_0 na wielkość wyjściową Θ równanie przetwarzania (1) rozważanego przepływomierza przedstawia się w postaci:

$$\Theta = \frac{C_1}{F} \left[1 - \exp(-C_2 \sqrt{F}) \right], \quad (5)$$

przy czym:

$$C_1 = \frac{P}{2\pi r_w L}; \quad C_2 = \sqrt{\frac{1}{\lambda} \frac{r_w^2}{r_z^2 - r_w^2}} \quad (6)$$

$$F = \lambda_p \text{Nu} \quad (7)$$

W równaniu (5) wielkością zależną od temperatury płynu jest tylko F , natomiast C_1 i C_2 nie zależą od temperatury, przy założeniu że pomija się wpływ konduktywności cieplnej rury i jej rozszerzalność cieplną.

Zmiana F spowodowana zmianą temperatury początkowej płynu ϑ_0 , po uwzględnieniu wzorów (2) i (3), określona jest zależnością:

$$\frac{F(\vartheta)}{F(\vartheta_0)} = \left(\frac{\lambda_p}{\lambda_{p0}} \right)^{0,66} \left(\frac{\rho_p}{\rho_{p0}} \right)^{0,33} \left(\frac{c_p}{c_{p0}} \right)^{0,33}. \quad (8)$$

Dla większości cieczy oraz dla niewielkich zmian temperatury można przyjąć liniową zależność funkcji F od temperatury:

$$F(\vartheta) = F(\vartheta_0) (1 + \beta \Delta \vartheta_0), \quad (9)$$

przy czym:

β - temperaturowy współczynnik zmiany funkcji F ; K^{-1} .

Wpływ temperatury początkowej cieczy ϑ_0 na równanie przetwarzania określa się obliczając względną zmianę δ_{ϑ_0} wielkości wyjściowej, tj. mierzonej różnicy temperatur Θ , spowodowaną zmianą temperatury początkowej cieczy o $\Delta \vartheta_0$:

$$\delta_{\psi} = \frac{1}{\theta} \cdot \frac{d\theta}{dF} \cdot \frac{dF}{d\psi_0} \Delta\psi_0. \quad (10)$$

Po podstawieniu do równania (10) zależności (1) i (9) otrzymuje się:

$$\delta_{\psi} = - \left[1 - \frac{1}{2} \alpha_2 \sqrt{F} \frac{\exp(-\alpha_2 \sqrt{F})}{1 - \exp(-\alpha_2 \sqrt{F})} \right] \frac{\beta \Delta\psi_0}{1 + \beta \Delta\psi_0}. \quad (11)$$

Po uwzględnieniu, że dla rozważanego przepływomierza [3]:

$$\frac{1}{2} \alpha_2 \sqrt{F} \frac{\exp(-\alpha_2 \sqrt{F})}{1 - \exp(-\alpha_2 \sqrt{F})} \ll 1 \quad (12)$$

oraz

$$\beta \Delta\psi_0 \ll 1$$

można przyjąć uproszczoną zależność na błąd temperaturowy:

$$\delta_{\psi} = -\beta \Delta\psi_0. \quad (13)$$

Błąd temperaturowy przepływomierza cieplnego jest liniowo zależny od zmian temperatury początkowej płynu i ma wartość ujemną.

4. Wartość liczbowa błędu temperaturowego

Wyznaczenie wartości liczbowej błędu temperaturowego wykonano dla wody. Wykresy zależności parametrów fizycznych wody od temperatury przedstawia rys. 2, a wykres zależności $\frac{F(\psi)}{F(\psi_0)} = f(\psi)$ rys. 3..

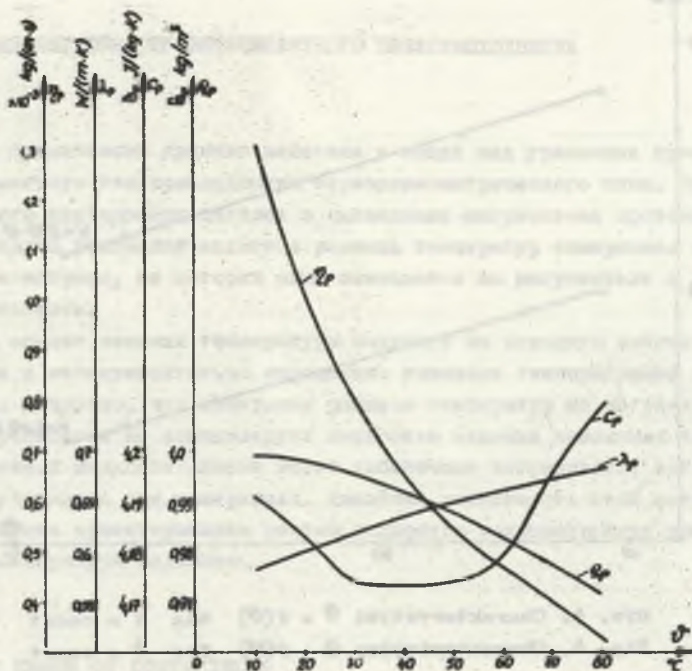
Wartość współczynnika β obliczona dla wody wynosi $\beta \cong 1,9 \cdot 10^{-3} \text{K}^{-1}$.

W celu wyznaczenia eksperymentalnie błędu temperaturowego przepływomierza zastosowano specjalny układ mostkowy do pomiaru małych różnic temperatur za pomocą termometrów rezystancyjnych. Bezwzględna niedokładność pomiaru różnicy temperatur w zakresie (6,5 ... 11) K wynosiła

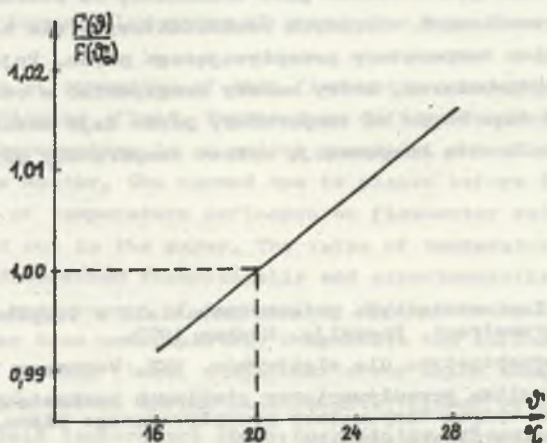
$$\Delta\theta = \pm (0,06 \dots 0,1) \text{K}.$$

Na rys. 4 przedstawione są przykładowo charakterystyki $\theta = f(\psi)$ dla $\dot{V} = \text{const}$ dla przepływomierza o danych: $L = 1,2$; $k = 5,3 \cdot 10^{-3}$; $P = 4 \text{W}$.

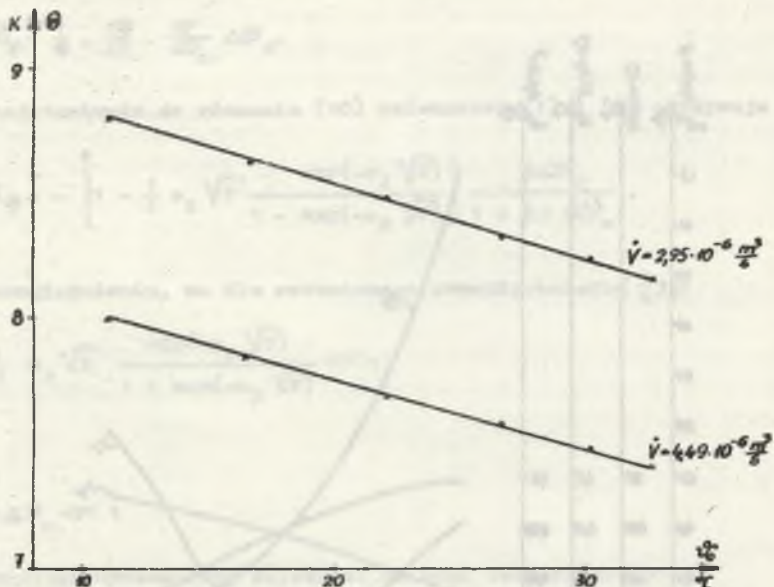
Wyznaczona eksperymentalnie wartość współczynnika β wynosi $\beta = 3,6 \cdot 10^{-3} \text{K}^{-1}$. Tak duża różnica między wartością współczynnika obliczoną a zmierzoną wynika z tego, że pomiary wykonane zostały dla wody wodociągowej, a obliczenia dla wody destylowanej.



Rys. 2. Wykresy, zależności parametrów fizycznych wody od temperatury
 Fig. 2. Diagrams of relationship between water physical parameters and temperature



Rys. 3. Wykres zależności $\frac{F(\psi)}{F(\psi_0)} = f(\psi)$ dla wody, dla przepływu laminarnego
 Fig. 3. Diagram of relationship $\frac{F(\psi)}{F(\psi_0)} = f(\psi)$ for water, for laminar flow



Rys. 4. Charakterystyki $\Theta = f(t_2/t_1)$ dla $\dot{V} = \text{const}$

Fig. 4. Characteristics $\Theta = f(t_2/t_1)$ for $\dot{V} = \text{const}$

5. Podsumowanie

Celem przeprowadzonych rozważań jest wykazanie, że pomiar różnicy temperatur w przepływomierzach cieplnych bezkontaktowych nie kompensuje całkowicie wpływu zmian temperatury przepływającego płynu. Pojawia się dodatkowy błąd przepływomierza, który należy uwzględnić w czasie pomiarów. Liniowa zależność tego błędu od temperatury płynu daje możliwość projektowania układów z całkowitą kompensacją wpływu temperatury płynu.

LITERATURA

- [1] Azimow R.K.: Izmeritelnyje priobrazowатели s tieplowymi raspriedelennymi parametrami. Energiya, Moskwa 1977.
- [2] Hering M.: Termokinetyka dla elektryków. WNT, Warszawa 1980.
- [3] Paseoka O.: Analiza przepływomierzy cieplnych bezkontaktowych z uwzględnieniem wpływu temperatury przepływającego płynu. Praca doktorska. Politechnika Śląska Gliwice 1979.
- [4] Paseoka O.: Przepływomierze cieplne bezkontaktowe. Konferencja naukowa: Metrologia w służbie przemysłu, Gliwice 1984.

Recenzent: Doc. dr hab. inż. Zygmunt Kuśmierk

Wpłynęło do Redakcji 20 czerwca 1987 r.

ТЕМПЕРАТУРНАЯ ПОГРЕШНОСТЬ БЕСКОНТАКТНОГО ТЕПЛОРАСХОДОМЕРА

Р е з ю м е

В статье представлен принцип действия и общий вид уравнения преобразования бесконтактного теплорасходомера термосеннометрического типа. Принцип действия этого расходомера состоит в охлаждении нагревателя протекаемой жидкостью. Исходной величиной является разница температур измеряемая электрическими термометрами, из которых один помещается на нагревателе а другой перед нагревателем.

Приведен анализ влияния температуры жидкости на исходную величину. Теоретически и экспериментально определено значение температурной погрешности для воды. Доказано, что измерение разницы температур на нагревателе и перед нагревателем не компенсирует полностью влияния изменения температуры протекаемой жидкости. Имеет место добавочная погрешность, которую необходимо учитывать при измерениях. Линейная зависимость этой погрешности дает возможность проектирования систем полностью компенсирующих влияние изменения температуры жидкости.

TEMPERATURE ERROR OF CONTACTLESS
THERMAL FLOW-METER

S u m m a r y

The principle of operation and the general form of conversion equation of contactless thermal flow-meter of anemometer type have been presented in the paper.

The principle of operation of this flow-meter consists in heater cooling by the flowing fluid. Temperature difference measured by means of electrical thermometers is an output quantity, one of the thermometers is placed on the heater, the second one is placed before the heater.

The analysis of temperature influence on flow-meter output quantity has been carried out in the paper. The value of temperature error for water has been determined theoretically and experimentally. It has been proved that the measurement of temperature difference on the heater and before the heater does not completely compensate the influence of temperature changes of flowing fluid. Additional error which should be taken into consideration occurs during measurements. Linear relationship between the error and fluid temperature gives possibility of systems designing with complete compensation of the fluid temperature influence.