

STANISŁAW WITCZAK

Wydział Mechaniczny, Politechnika Opolska, Opole

Straty ciśnienia przy przepływie mieszaniny gazowo-cieczkowej przez zawory regulacyjne

Wprowadzenie

W zakresie badań nad hydrodynamiką przepływu mieszaniny gazowo-cieczkowej przez zawory różnej konstrukcji można w literaturze znaleźć szereg opracowań, czego przykładem mogą być m.in. prace [1–7], które dotyczą pomiarów wielu różnorodnych wielkości niezbędnych do oceny warunków ich eksploatacji. Prace w tym zakresie można podzielić na kilka ogólnych grup obejmujących głównie:

- badanie i modelowanie warunków pracy zaworów bezpieczeństwa eksploatowanych zarówno w energetyce, ciepłownictwie i technice chłodniczej,
- badanie i modelowanie zaworów dławiących stosowanych w różnych rozwiązaniach agregatów chłodniczych,
- badanie warunków eksploatacyjnych zaworów odcinających i regulacyjnych wykorzystywanych np. przy transporcie ropy naftowej i gazu ziemnego.

Autorowi opracowania znane są przypadki instalacji, szczególnie w przemyśle perto- i karbochemicznym, w których następuje klasyczny transport mieszanin gazowo-cieczkowych, w tym także chociażby transport technologiczny zawadnionej ropy naftowej i smół węglowych, a więc mieszanin dwufazowych typu gaz–ciecz i mieszanin trójfazowych typu gaz–ciecz–ciecz. Niestety w wyniku dokonanego w tym zakresie przeglądu danych literaturowych nie natrafiono na prace, w których analizowano by hydrodynamikę przepływu wielofazowego gaz–ciecz w ujęciu typowym dla tego typu przepływu. Stąd też we własnych badaniach podjęto próbę oceny wartości strat ciśnienia przez wybrane typy zaworów regulacyjnych przy przepływie mieszaniny gazowo-cieczkowej.

Wyniki badań i ich analiza

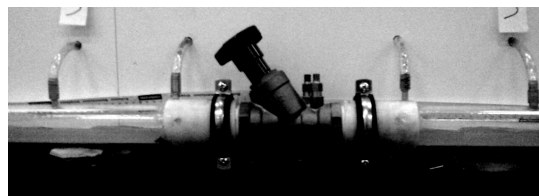
Badania hydrodynamiki przepływu wielofazowego przez rury z zamontowanymi zaworami prowadzono pod kątem oceny ich wpływu na zaburzenia struktur przepływu w odcinkach przyłączeniowych oraz określenia zależności do obliczenia miejscowych strat ciśnienia na tego typu elementach zaburzających przepływ. Uwzględniając możliwości ruchowe instalacji doświadczalnej do badań wybrano cztery zawory o różnych średnicach tj. 1/2", 1", 1,25" oraz 1,5", które zamontowano na poziomych rurach o średnicach 15, 25, 32 i 40 mm odpowiadających średnicom nominalnym dla wybranych zaworów. Jako zawory wykorzystano zawory regulacyjne (balansowe). Wpływ obecności zaworów na charakter przepływu mieszaniny gazowo-cieczkowej zilustrowano na przykładowych fotografiach zamieszczonych na rys. 1.

Jak można zauważyć, obecność zaworu nie wywołuje istotnych zaburzeń struktur przepływu w odcinkach przyłączeniowych. Analogiczna sytuacja miała miejsce także dla pozostałych średnic rur. Oczywiście sytuacja taka miała miejsce

Kierunek przepływu mieszaniny gazowo-cieczkowej



Struktura rozwarstwiona przed i za zaworem



Struktura falowa przed i za zaworem



Struktura korkowa przed i za zaworem



Struktura rzutowa przed i za zaworem

Rys. 1. Hydrodynamika przepływu mieszaniny gazowo-cieczkowej w rurach poziomych przy przepływie przez zawór 1,5"

w zakresie parametrów przepływowych wykorzystywanych w badaniach, a przedstawionych w tabelicy 1.

Ograniczenie strumieni poszczególnych faz, w stosunku do badań hydrodynamiki przepływu wielofazowego przez rury prostoosiowe, podyktowanym był faktem, że już w tym zakresie parametrów wartości strat ciśnienia przy przepływie przez zawory były na granicy stosowalności (precyzyjnych) elektronicznych przetworników różnicy ciśnienia.

Brak wyraźnych stref zaburzeń struktur przepływu był potwierdzony także pomiarami wartości oporów przepływu, któ-

Tabelica 1

Warunki prowadzenia badań

Faza – (i)	Prędkość pozorna $w_{i,0}$ [m/s]	Liczba Reynoldsa Re_i	Udział objętościowy, ϵ_i
Powietrze	0,07÷3,29	67÷5555	0,13÷0,95
Woda	0,018÷0,49	289÷7946	0,09÷0,85
Olej	0,08÷0,49	38÷342	0,024÷0,96

rych to wyniki nie wykazały wzrostu wartości spadków ciśnienia w rurach przyłączeniowych w stosunku do oporów przepływu w odcinkach o ustabilizowanym przepływie trójfazowym.

Wobec braku w danych literaturowych zależności do obliczania miejscowych strat ciśnienia przy przepływie mieszaniny gazowo-cieczkowej przez zawory regulacyjne, podjęto próbę opracowania własnej zależności, przyjmując (przez analogię do przepływu jednofazowego), że

$$\Delta P_{3F} = \xi_{3F} \frac{w_{3F}^2}{2} \rho_{3F} \quad (1)$$

w którym gęstość mieszaniny trójfazowej ρ_{3F} obliczano zgodnie z relacją

$$\rho_{3F} = \rho_g R_g + \rho_w R_w + \rho_o R_o \quad (2)$$

w której udziały objętościowe poszczególnych faz w strudze trójfazowej wyznaczano w oparciu o metodą *Pendyk* [8], a mianowicie:

$$R_p = \frac{\varepsilon_p^{0,37}}{1 + \left(\frac{1}{\varepsilon_p} - 1\right)^{0,5}} \left(\frac{1 - \varepsilon_w}{1 + \varepsilon_o}\right)^{0,43} \quad (3)$$

$$R_w = (\varepsilon_w^*)^{0,8} (1 - R_p) \quad (4)$$

$$R_o = 1 - R_p - R_w \quad (5)$$

Celem uwzględnienia faktu, że każdy z badanych zaworów ma własną charakterystykę określoną przez współczynnik oporu miejscowego ξ_0 (wartości katalogowe), wprowadzono parametr korekcyjny K_{3F} uwzględniający wzajemną relację pomiędzy wartościami ξ_{3F} i ξ_0 .

Parametr ten zdefiniowano relacją

$$K_{3F} = \frac{\xi_{3F}}{\xi_0} - 1 \quad (6)$$

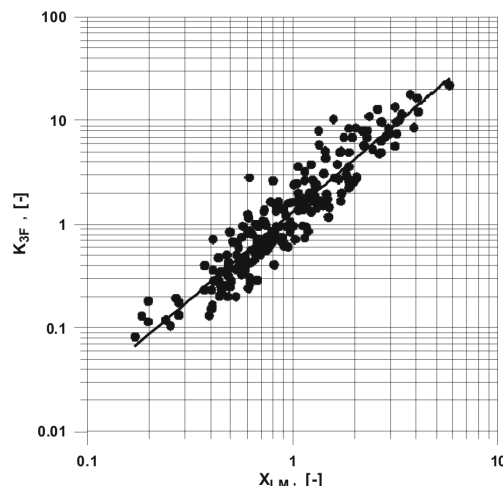
określającą względne zwiększenie wartości współczynnika oporu przepływu wielofazowego w stosunku do jego wartości przy przepływie jednofazowym. Uwzględniając (6), równanie (1) przyjmuje postać

$$\Delta P_{3F} = (1 + K_{3F}) \xi_0 \frac{w_{3F}^2}{2} \rho_{3F} \quad (7)$$

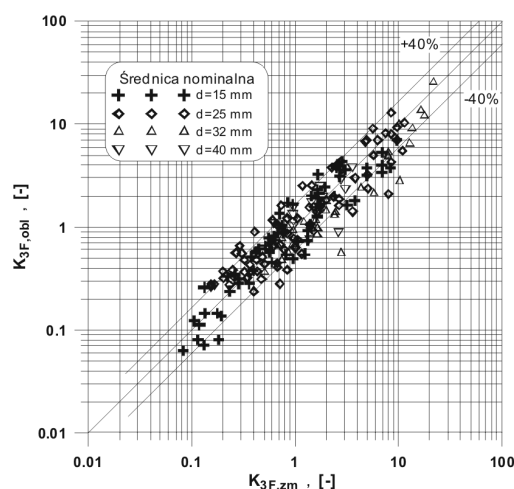
w której przy $K_{3F} = 0$, tj. braku fazy gazowej, ma jednocześnie miejsce $w_{3F} = w_c$ oraz $\rho_{3F} = \rho_c$, a przepływ wielofazowy staje się przepływem jednofazowym cieczy.

W wyniku analizy wpływu wielu parametrów na wartość współczynnika K_{3F} ustalono, że korzystnie jest uzależnić jego wartość od parametru *Lockharta-Matinelliego* X_{LM} wykorzystywanego do opisu oporów przepływu trójfazowego w rurach prostoosiwych [8]. Zależność tych parametrów przedstawiono na rys. 2. Jak wynika z przedstawionych na rysunku danych doświadczalnych, parametr $K_{3F} > 0$ a w konsekwencji $\xi_{3F} > \xi_0$, co oznacza, że strata ciśnienia przy przepływie przez zawory regulacyjne mieszaniny gazowo-cieczkowej jest zawsze większa niż przy przepływie samej cieczy.

W wyniku przeprowadzonych obliczeń korelacyjnych otrzymano zależność



Rys. 2. Rozkład punktów doświadczalnych wokół linii opisanej równaniem (8)



Rys. 3. Porównanie zmierzonych wartości strat ciśnienia przez zawory z wartościami obliczonymi wg opracowanej metody obliczeniowej (8)

$$K_{3F} = 1,317 X_{LM}^{1,168} \quad (8)$$

dla której wartość współczynnika korelacji $r = 0,929$ a średnia wartość odchylenia standardowego wynosi 0,208. Z przedstawionego na rys. 3. porównania zmierzonych wartości K_{3F} z wartościami obliczonymi wg (8) wynika, że zależność ta pozwala na obliczanie miejscowych strat ciśnienia ze średnią dokładnością $\pm 40\%$. Można zatem polecić opracowaną metodę do określania miejscowych strat ciśnienia przy przepływie mieszaniny wielofazowej przez zawory regulacyjnych w zakresie badanych średnic.

LITERATURA

1. S.W. Kim, H.CH. No.: J. Heat Mass Transfer, 44, 4567 (2001).
2. R. Darby: Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 17, 255 (2004).
3. G.A. Ibrahim: Int. J. Refrigeration, 24, 566 (2001).
4. M.J. Chern, CH.CH. Wang: Exp. Thermal Fluid Sc. 31, 505 (2007).
5. G.V. Varlamov: Chem. and Petroleum Eng. 37, 3 (2001).
6. J. Liu, J. Chen, Q. Ye, Z. Chen: Exp. Thermal Fluid Sc. 32, 214 (2007).
7. X. Zhifang, S. Lin, O. Hongfei: Applied Thermal Eng. 28, 238 (2008).
8. R. Dyga, B. Pendyk, L. Troniewski, S. Witczak: Opory i stopień zapełnienia w przepływie trójfazowym gaz-ciecz-ciecz, Wyd. Pol. Opolskiej, 2003.