

Marcin PIETRZAK, Małgorzata PŁACZEK, Stanisław WITCZAK

e-mail: m.pietrzak@po.opole.pl

Katedra Inżynierii Procesowej, Wydział Mechaniczny, Politechnika Opolska, Opole

Wykorzystanie metody konduktometrycznej do oceny wznoszącego przepływu trójfazowego gaz-ciecz-ciecz

Wstęp

Przepływ trójfazowy olej-powietrze-woda powszechnie występuje w procesach produkcji i transportu olejów, czy też przerobu ropy naftowej. Zachowanie się powietrza, wody i oleju podczas równoczesnego ich przepływu stanowi wyjątkowy interdyscyplinarny problem w przemyśle petrochemicznym. Ze względu na wzajemne relacje wielu złożonych czynników podczas przepływu takich jak turbulencje w cieczy, interakcja na granicy faz, czy lokalne ruchy pomiędzy fazami przepływ trójfazowy gaz-ciecz-ciecz jest bardzo nieregularny, przypadkowy, a struktura przepływu niestabilna. Zrozumienie dynamiki struktur takiego przepływu jest w tym przypadku kluczową kwestią. Identyfikacja struktur przepływu trójfazowego gaz-ciecz-ciecz ma bowiem zasadnicze znaczenie dla projektowania rurociągów i urządzeń transportujących oraz do poprawnej interpretacji wyników badań, np. sposobu obliczania udziałów objętościowych faz i oporów przepływu. W związku z tym ważne jest aby dysponować obiektywnymi metodami przewidywania warunków tworzenia się i oceny struktur przepływu. Jednym z mało docenianych sposobów diagnostyki przepływu jest wykorzystanie w takim przypadku zjawiska konduktowności do oceny charakteru przepływu mieszaniny wielofazowej. Każdy ze składników tej mieszaniny posiada bowiem odmienne od pozostałych cechy fizykochemiczne, które mogą być wykorzystane w ocenie stanu rozproszenia poszczególnych faz, poprzez zastosowanie zjawiska konduktancji.

Wcześniejsze badania nad wznoszącym przepływem trójfazowym olej-powietrze-woda koncentrowały się głównie na wizualnych obserwacjach przepływu i klasyfikacji struktur przepływu. Tego typu eksperymenty były prowadzone m.in. w pracach [Tek, 1961; Shean, 1976; Pleshko i Sharma, 1990; Guo i in., 1991; Chen, 1991; Woods i in., 1998; Oddie i in., 2003; Nowak, 2008].

W ostatnim czasie w literaturze przedmiotu zaczęto odnosić się do zastosowania metod konduktancji przy identyfikacji struktur wznoszącego i opadającego przepływu dwufazowego olej-woda [Du i in., 2012; Brandt i in., 2013], jak również dla wznoszącego i opadającego przepływu trójfazowego olej-powietrze-woda [Jin i in., 2008; Wang i in., 2010; Gao i Jin, 2011; Brandt i in., 2014].

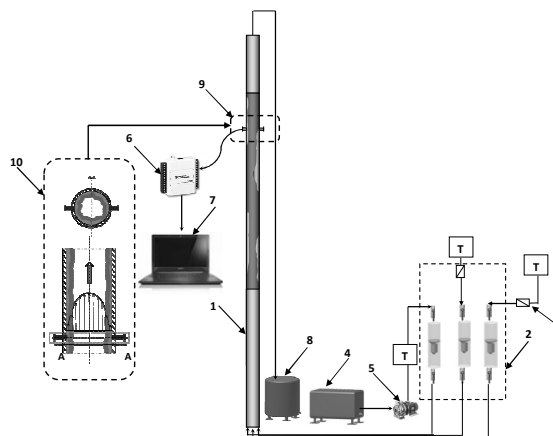
Ponieważ metoda konduktometryczna posiada mało aplikacji w tego typu badaniach, a identyfikacja struktur przepływu olej-powietrze-woda stanowi istotny problem, podjęto prace badawcze nad wznoszącym przepływem trójfazowym gaz-ciecz-ciecz przy wykorzystaniu tejże metody.

Badania doświadczalne

Aparatura. Badania doświadczalne przepływu trójfazowego prowadzono na instalacji eksperymentalnej, której schemat przedstawiono na rys. 1. Badania prowadzono w transparentnej rurze pionowej – 1, wykonanej z pleksiglasu, o średnicy wewnętrznej 0,03 m i długości 3m. Cynniki robocze doprowadzono z odpowiednich układów zasilania i kierowano do układu regulacji i pomiaru strumienia przepływu – 2, skąd wprowadzano je do komory mieszania, w której następowało wytworzenie strugi wielofazowej. Olej tłoczono ze zbiornika – 4 do instalacji i układu zasilania za pomocą pompy zębatej – 5. Przed wlotem do układu zasilania mierzono temperaturę (T) użytych w badaniach mediów. Wodę i powietrze pobierano, odpowiednio, z sieci wodociągowej i pneumatycznej, a następnie kierowano do kanału pomiarowego, poprzez baterię rotametrów, służących do regulacji i pomiaru ich strumienia przepływu. Powstała mieszanina wielofazowa przepływała początkowo przez odcinek kanału rozbiegowego, gdzie następowało ustabilizowanie parametrów przepływu i ukształtowanie się określonej struktury przepływu. W dalszej części pionowej rury dokonywano obserwacji i identyfikacji tworzących się struktur przepływu. Po opuszczeniu kanału pomiarowego mieszanina trójfazowa przepływała do separatora – 8, w którym dochodziło do jej rozdzielania.

Metodyka. W badaniach własnych wykorzystano metodę pomiaru przewodności elektrycznej płynów do określania dominacji poszczególnych faz ciekłych przy ścianie rury. W analizowanym przypadku, w mieszaninie cieczy, izolatorem był olej L-AN 15 natomiast przewodnikiem woda. Gdy ciecz przewodząca kontaktowała się z czujnikiem pomiarowym, wtedy następowało generowanie sygnałów wyjściowych niskiego napięcia. Z kolei w warunkach, gdy z czujnikiem pomiarowym kontaktowała się faza izolacyjna, wówczas otrzymywano sygnały wyjściowe wysokonapięciowe. Realizując eksperyment wykorzystano układ ośmiu sond pomiarowych rozmieszczonych koncentrycznie w płaszczy ściany rury w odległości 0,015 m. Sygnały wyjściowe z sond elektrycznych rejestrowano za pomocą komputera wyposażonego w 16 kanałową analogowo-cyfrową kartę pomiarową NI USB-6210 firmy National Instruments, współpracującą z oprogramowaniem DIAdem Evaluation Version. Karta ta umożliwiała rejestrację sygnałów napięciowych w zakresie 0÷5 V.

Badania prowadzono w szerokim zakresie zmian wartości strumieni objętościowych faz, które dla oleju, powietrza i wody wynosiły odpowiednio: 0,005÷0,33 m³/h; 0,13÷13,5 m³/h; 0,1÷0,88) m³/h. Ponieważ pomiary tego typu przepływu charakteryzuje duża dynamika, w celu miarodajnego opisu tworzących się struktur przepływu, wraz z pomiarami konduktancji, prowadzono jednocześnie obserwacje wizualne oraz dokonywano zapisu danej struktury przepływu w postaci zdjęć i filmów przy użyciu aparatu cyfrowego typu Canon 300D z czasem migawki 1/4000.

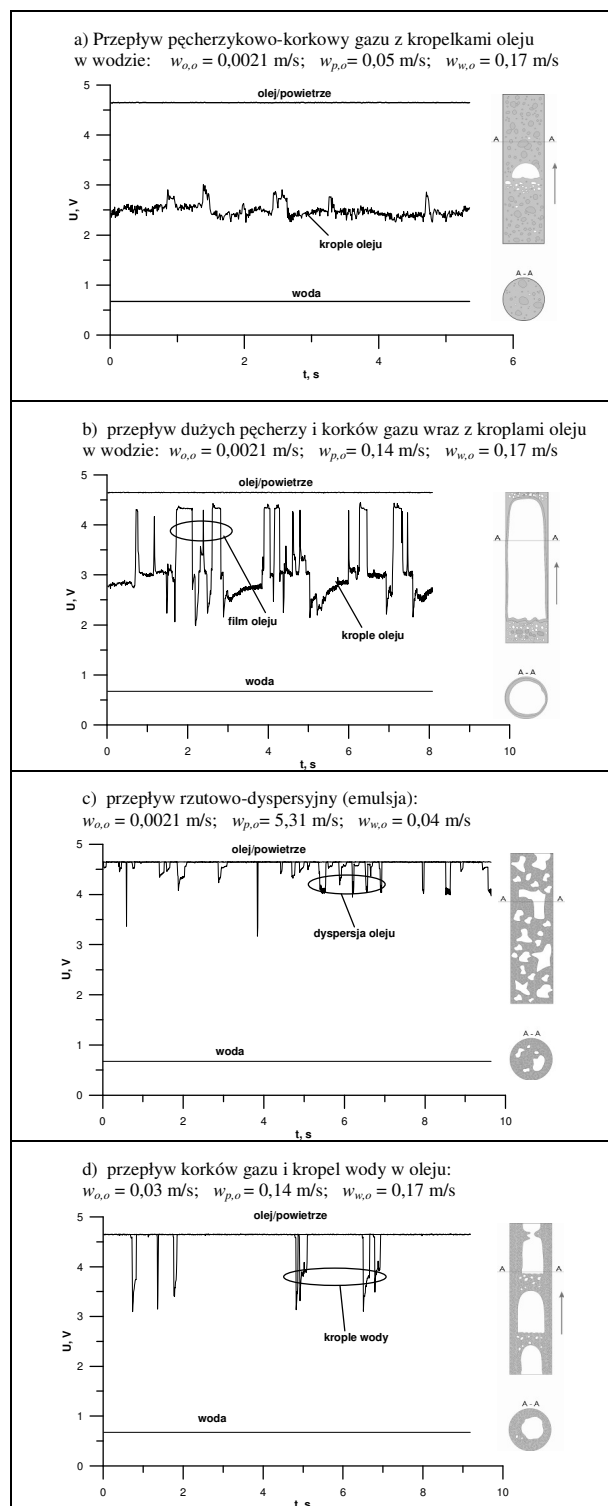


Rys. 1. Schemat instalacji badawczej do konduktometrycznej identyfikacji struktur przepływu trójfazowego olej-powietrze-woda: 1- kanał pomiarowy, 2- bateria rotametrów, 3- zawór redukcyjny, 4- zbiornik oleju, 5- pompa oleju, 6- karta pomiarowa, 7- komputerowy system akwizycji danych pomiarowych, 8- separator, 9- sondy pomiarowe, 10- przekrój kanału pomiarowego.

Wyniki i dyskusja

Podczas realizacji badań stwierdzono występowanie znacznej ilości zróżnicowanych struktur przepływu. Różnorodność struktur przepływu związana była z szerokim zakresem zmian wartości strumieni objętościowych faz. W tab. 1, tytułem przykładu, przedstawiono rzeczywiste charakterystyki zmian napięcia elektrycznego U w zależności od rodzaju wytworzonej struktury przepływu trójfazowego i czasu trwania pomiaru t wraz z podaniem warunków jej występowania. Ponieważ metodą konduktometryczną określano dominację ciekłych składników mieszaniny trójfazowej, charakterystyki te odpowiadają przepływowi z dominującą fazą wodną-Tab.1a,b; dominującą fazą olejową- tab.1d oraz dyspersji (emulsji) obu faz- tab.1c. Na wykresach przedstawiających rzeczywiste przebiegi napięcia elektrycznego dla mieszaniny wielofazowej zaznaczono także jego średnie wartości dla przepływu jednofazowego wody, oleju i powietrza.

Tab. 1. Rzeczywiste przebiegi zmian napięcia elektrycznego dla różnych struktur trójfazowego przepływu olej-powietrze-woda w pionowej rurze o średnicy 0,03 m.



Z przebiegu charakterystyk napięciowych zawartych w Tab. 1 wynika, że struktury przepływu trójfazowego olej-powietrze-woda wykazują dużą stochastyczność. W momencie dominacji wody w układzie, przy niewielkiej prędkości pozornej powietrza $w_{p,o}$ i oleju $w_{o,o}$ (Tab. 1a), wartość napięcia elektrycznego oscyluje ok. $2 \div 3$ V. Mała zmiana napięcia świadczy o tym, że ze ścianą rury kontaktują małe kropelki oleju, które nie wywołują istotnych skoków napięcia.

W przypadku, gdy prędkość pozorna powietrza wzrasta, a małe pęcherzyki i korki gazu łączą się w duże aglomeraty, niosąc ze sobą film olejowy wartość napięcia wzrasta do ok. 4,5 V (Tab. 1b). Kiedy prędkość pozorna gazu jest bardzo duża, a prędkości pozorne oleju i wody

$w_{w,o}$ znacznie mniejsze (Tab. 1c), w przepływie trójfazowym tworzy się dyspersja faz ciekłych. Powietrze przepływa w tym przypadku w postaci rzutów, porywając przy tym wytworzoną emulsję. Strumień emulsji jest tak duży, że podczas jego kontaktu ze ścianą kanału, napięcie osiąga maksymalną wartość, tj. ok. 4,64 V. Pojawiające się piki dolne (spadek napięcia do ok. 4V) świadczą o niejednorodności emulsji związanej z różnym miejscowym udziałem oleju i wody w zdyspergowanej mieszaninie.

Podczas dominacji oleju w przepływie (Tab. 1d) wartość napięcia waha się w zakresie ok. $3 \div 4,64$ V. Powodem takiej zmiany wartości napięcia są kropelki wody w oleju, które podczas kontaktu ze ścianą generują zmiany napięcia do maksymalnej jego wartości. W przypadku kiedy na ścianie kanału gromadzą się kropelki wody wartość napięcia maleje do ok. 3V.

Wnioski

W oparciu o analizę zgromadzonego materiału eksperymentalnego stwierdzono, że opracowana własna metoda pomiaru wartości napięcia elektrycznego w układzie gaz-ciecz-ciecz może stanowić narzędzie wspomagające wizualną obserwację struktur przepływu gaz-ciecz-ciecz.

Przeprowadzone badania wykazały, że metodą tą można posługiwać się przy określaniu dominacji poszczególnych faz w przepływie dwóch niemieszających się cieczy i gazu, jak również charakteryzować tworzące się struktury przepływu wielofazowego.

LITERATURA

- Brandt A., Czernek K., Pietrzak M., Witeczak S., (2014). *Analiza przepływu opadającego w rurach pionowych* [w:] Wójs K., Sitko A. (red.), Aktualne zagadnienia energetyki. Wyd. Pol. Wrocławskiej, 127-136 (10.2015) http://www.dbc.wroc.pl/Content/27013/aktualne_zagadnienia_energetyki_t1.pdf
- Brandt A., Witeczak S., Pietrzak M., (2013). Hydrodynamika spływu cieczy dwufazowej woda-olej w rurze pionowej. *Inż. Ap. Chem.*, 52(5), 401-402.
- Chen X.Z., (1991). *An investigation on the upward vertical flow characteristics of oil, gas and water in tubes*. Ph.D. Dissertation, Xi'an Jiaotong University
- Du M., Jin N.D., Gao Z.K., Wang Z.Y., Zhai L.S., (2012). Flow pattern and water holdup measurements of vertical upward oil-water two-phase flow in small diameter pipes. *Int. J. Multiphase Flow*, 41, 91-105. DOI: 10.1016/j.ijmultiphaseflow.2012.01.007
- Gao Z.K., Jin N.D., (2011). Nonlinear characterization of oil-gas-water three-phase flow in complex networks. *Chem. Eng. Sci.*, 66(12), 2660-2671. DOI: 10.1016/j.ces.2011.03.008
- Guo H.M., Zhou C.D., Jin Z.W., (1991). *An interpretative method for production logs in three-phase flows*. SPE Asia-Pacific Conference, Australia, 229-235. DOI: 10.2118/22970-ms
- Jin N.D., Xin Z., Wang J., Wang Z.Y., Jia X.H., Chen W.P., (2008). Design and geometry optimization of a conductivity probe with a vertical multiple electrode array for measuring volume fraction and axial velocity of two-phase flow. *Measurement Sci. Technol.*, 19(4), 045403. DOI: 10.1088/0957-0233/19/4/045403
- Nowak M., (2007). *Udziały objętościowe i opory przepływu trójfazowego w kanale pionowym*. Praca doktorska, Pol. Opolska, Opole
- Oddie G., Shi H., Durlofsky L.J., Aziz K., Pfeffer B., Holmes J.A., (2003). Experimental study of two and three phase flows in large diameter inclined pipes. *Int. J. Multiphase Flow*, 29(4), 527-558. DOI: 10.1016/s0301-9322(03)00015-6
- Pleshko A., Sharma, M.P., (1990). *An experimental study of vertical three phase (oil-water-air) upwards flows* [in:] ASME Proc. Conf. Advances in gas-liquid flows, FED 99 HTD 155, Dallas, Texas, 81-88
- Shean A.R., (1976). *Pressure drop and phase fraction in oil-water-air vertical pipe flow*. M.S. Thesis, Massachusetts Inst. of Technol., Cambridge, MA
- Tek M.R., (1961). Multiphase flow of water, oil and natural gas through vertical flow strings. *J. Petrol. Technol.*, 13(10), 1029-1036. DOI: 10.2118/1657-G-PA
- Wang, Z.Y., Jin N.D., Gao Z.K., Zong Y.B., Wang T., (2010). Nonlinear dynamical analysis of large diameter vertical upward oil-gas-water three-phase flow pattern characteristics. *Chem. Eng. Sci.*, 65(18), 5226-5236. DOI: 10.1016/j.ces.2010.06.026
- Woods, G.S., Spedding P.L., Watterson J.K., Raghunathan R.S., (1998). Three-phase oil/water/air vertical flow. *Chem. Eng. Res. Des.*, 76(5), 571-584. DOI: 10.1205/026387698525252