

Barbara DYBEK, Izabela WARDACH

e-mail: b.dybek@po.opole.pl

Katedra Inżynierii Procesowej, Wydział Mechaniczny, Politechnika Opolska, Opole

Wymiana ciepła w przepływie dwóch cieczy niemieszających się

Wstęp

Procesy wymiany w przepływie ciecz – ciecz nie są tak powszechne jak w innych układach dwufazowych, niemniej jednak stanowią dość znaczący udział w takich operacjach, jak procesy termicznej przeróbki zawadzionych cieczy węgl- i ropopochodnych, przetwarzania zawodnionych olejów, separacji emulsji, czy też układów ekstrakcyjnych.

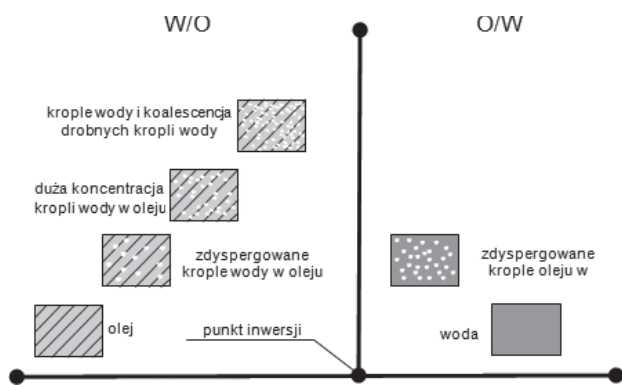
Warunki wymiany ciepła są w takich przypadkach bardzo złożone, a zdeterminowane przez właściwości faz oraz struktury przepływu ciecz – ciecz. Objawia się to złożonym mechanizmem przekazywania ciepła do strugi dwufazowej, zwłaszcza że jej struktura w przepływie diabazycznym może ulegać zmianom. Jest to szczególnie istotne, ponieważ podczas przepływu dwóch cieczy niemieszających się z powierzchnią wymiany ciepła kontaktuje się zazwyczaj faza ciągła. Zatem to głównie jej konfiguracja międzyfazowa a także właściwości decydują w znacznej mierze o warunkach wymiany ciepła.

Z drugiej strony wymiana ciepła w przepływie dwóch cieczy niemieszających się zachodzi wskutek przenoszenia ciepła do dwóch faz: ciągłej i rozproszonej (pęcherzyki, krople, piana). Wzajemna konfiguracja faz stanowi w takim przypadku o strukturze przepływu, której typ oraz rodzaj zależą nie tylko od warunków przepływu ale także od właściwości faz tworzących układ dwufazowy ciecz – ciecz. Należy zwrócić przy tym uwagę na to, że zgodnie z definicją przepływu, płynie tylko faza ciągła, natomiast faza rozproszona jest niejako unoszona w objętości. Jednakże od jej udziału objętościowego zależy, czy i jak wpływa to na warunki wymiany ciepła.

W niniejszej pracy dokonano oceny warunków wymiany ciepła podczas przepływu mieszaniny dyspersyjnego układu ciecz – ciecz w rurze poziomej. W ocenie tej wykorzystano założenia dwufazowego modelu homogenicznego, a do opisu warunków wnikania ciepła wykorzystano znane w literaturze modele, odnoszące się zarówno do strugi jedno- jak i dwufazowej.

Dyspersyjne układy ciecz – ciecz

W pracy [Hapanowicz, 2007] szczegółowo opisano, scharakteryzowano i usystematyzowano struktury i typy układu dwufazowego. Wyróżniono dwa podstawowe typy takich układów, a mianowicie: olej – woda (ozn. W/O) oraz woda – olej (O/W). Przykładowo na rys. 1 przedstawiono typy układu dwufazowego, z wyszczególnieniem form dyspersji fazy rozproszonej. Widać, że dany typ układu wynika z rodzaju fazy rozproszonej, jednak nie zawsze musi to być faza o większym udziale objętościowym. O naturze tworzenia fazy ciągłej i rozproszonej



Rys. 1. Określenia układu dwufazowego ciecz – ciecz, wg [Hapanowicz, 2007]

decydują bowiem zarówno właściwości fizyczne układu jak i warunki przepływu.

Z procesowego punktu widzenia układy dyspersyjne typu O/W są związane z przepływem mało lepkiej ciągłej fazy (wody) z rozproszonymi formami oleju, o lepkości nawet kilkaset razy większej od lepkości wody.

Z kolei układy dyspersyjne typu W/O są w swym charakterze podobne do przepływu zawadzionego oleju, kiedy to w zdecydowanie bardziej lepkiej fazie ciągłej (olej), rozproszone są różnej wielkości formy kroplowe wody, wpływające na zmniejszenie lepkości całego układu.

W obu jednak przypadkach, występujące w przepływie dwufazowym ciecz – ciecz układy dyspersyjne to formujące się od kroplowych do silnie zdyspergowanych struktur przepływu formy, wykazujące dość łatwą zdolność migracji w objętości fazy ciągłej (Rys. 1). Przyczynia się to do tworzenia stosunkowo dużej powierzchni wymiany ciepła na granicy faz.

Warto nadmienić, że w odróżnieniu do układów dyspersyjnych, w przepływie dwufazowym ciecz – ciecz występują także układy emulsyjne typu W/O lub O/W. Jednakże ze względu na trwałe na ogół rozmieszczonych faz ciągłej i rozproszonej układy te cechują odmienne od dyspersyjnych kryteria procesowo-przepływowe [Dybek, 2011].

Wymiana ciepła podczas przepływu układów dyspersyjnych

Badania wymiany ciepła prowadzono w warunkach przepływu poziomego, w rurze o średnicy 6 i 10 mm. W badaniach wykorzystano trzy rodzaje olejów mineralnych (Mobil, AN15, AN100), o zróżnicowanym zakresie zmian lepkości względem temperatury, co pozwoliło uzyskać zarówno układy dyspersyjne typu W/O jak i O/W. W obu przypadkach badania przeprowadzono w warunkach przepływu laminarnego, przejściowego a także turbulentnego. Podstawę oceny warunków wymiany ciepła stanowił współczynnik wnikania ciepła α_{2F} , odniesiony do efektu podgrzewania układu ciecz – ciecz. Eksperymentalne wartości tego współczynnika wynikały ze strumienia ciepła q przekazywanego od ścianki rury do płynącej mieszaniny dwufazowej oraz średniej użytecznej różnicy temperatury ΔT_{sc-sr} , pomiędzy ścianką rury a płynem na jej długości:

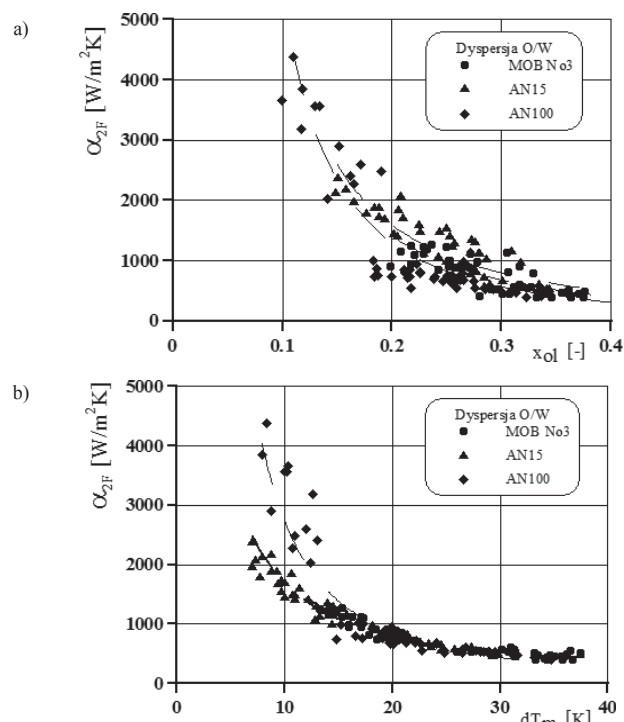
$$\alpha_{2F} = \frac{q}{\Delta T_{sc-sr}} \quad (1)$$

Przykładowe wyniki badań charakteryzujące zależność współczynnika wnikania ciepła od udziału oleju w mieszaninie dwufazowej, a także względem zmiany średniej użytecznej temperatury, przedstawiono na rys. 2 i 3. Z rozkładu punktów doświadczalnych wynika, że na wartość współczynnika wnikania ciepła bardzo istotny wpływ mają zarówno cechy fizyczne układu ciecz – ciecz zdominowane przez zawartość oleju w mieszaninie, jak i warunki termiczne wynikające z średniej użytecznej różnicy temperatury. W obu przypadkach, wraz ze wzrostem wartości tych parametrów wartość współczynnika wnikania ciepła wyraźnie zmniejsza się, a efekt redukcji jego wartości jest tym większy im większa wartość czy to udziału oleju, czy to wartości użytecznej różnicy temperatury. Zmienność ta jest charakterystyczna dla tzw. efektu tłumienia warunków wnikania ciepła, występującego także przy innych warunkach wymiany ciepła w układach typu ciecz – ciecz [Filipczak, 2008].

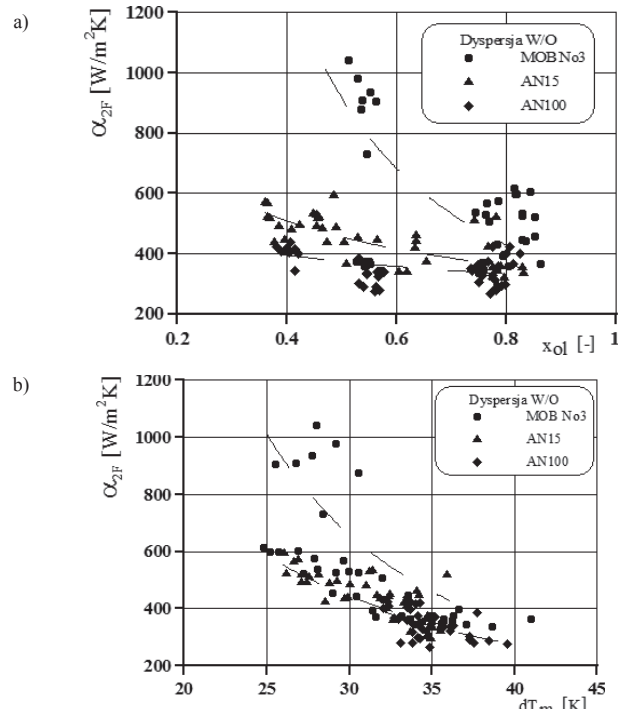
Wynikające z kinetyki wymiany ciepła warunki procesowe opisano modelem ujmującym w swej postaci stosunek liczb kryterialnych *Nusselta*, jakie mogą być przypisane zarówno do układu dwufazowe-

go ciecz – ciecz (Nu_{c-c}), jak i fazy ciągłej (odpowiednio Nu_w lub Nu_{ol}).
Przykładowo dla układu O/W otrzymano zależność

$$\frac{Nu_{c-c}}{Nu_{fc}} = 4074 Re_{fc}^{-0,842} \Theta_{c-c}^{-0,530} \left(\frac{d}{L}\right)^{0,245} \quad (2)$$



Rys. 2. Współzależność parametrów procesowych dla układu O/W

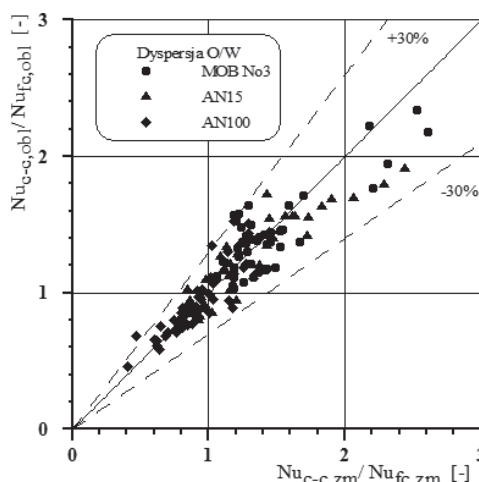


Rys. 3. Współzależność parametrów procesowych dla układu W/O

w której liczba Re_{fc} dotyczy fazy ciągłej i jest wyznaczana na podstawie zastępczych właściwości tej fazy:

$$Re_{fc} = \frac{w_{c-c} d \rho_{fc}}{\eta_{fc}} \quad (3)$$

natomiast parametr bezwymiarowy Θ_{c-c} opisuje wzajemne powiązanie warunków termicznych:



Rys. 4. Rozkład punktów doświadczalnych

$$\Theta_{c-c} = \frac{T_{sc} - T_{sr,obj}}{\Delta T_{obj}} \quad (4)$$

Stosunek d/L jest miarą wielkości obszaru, w którym zachodzą istotne dla procesu wnikania ciepła zjawiska przyścienne.

Porównanie) zmierzonych wartości współczynnika wnikania ciepła z obliczonymi wg modelu (2), przedstawiono na rys. 4. Rozkład punktów doświadczalnych, odniesiony w tym przypadku do układu dyspersyjnego O/W wskazuje na zjawiska hydrodynamiczne powiązane z obecnością oleju w warstwie przyściennej, a świadczą o tym dające się zauważyć nieco zaniżone obliczone średnie wartości stosunku liczb Nu . Niezależnie od rodzaju oleju dotyczy to tych przypadków, przy których lepkość warstwy przyściennej jest w rzeczywistości większa, niż lepkość fazy ciągłej w tym obszarze. Z kolei wyższe wartości pojawiają się wtedy, gdy olej zostaje zmyty z powierzchni rury przez fazę ciągłą. Odwrotny mechanizm obserwowano dla przepływu dyspersji typu W/O. W tym przypadku warunki wnikania ciepła są zdominowane przez konwekcję wymuszoną w fazie olejowej [Dybek, 2011].

Dla modelu wynikającego z równania (2), średni błąd względny wartości obliczonych względem zmierzonych wynosi $\pm 15,5\%$, natomiast w przypadku wnikania ciepła przy przepływie dyspersji W/O wartość ta wynosi $\pm 19,5\%$.

Wnioski

Przeprowadzone dla różnego typu układów dyspersyjnych ciecz-ciecz badania wnikania ciepła w przepływie wskazują na istotny wpływ rodzaju układu oraz jego form na warunki wymiany ciepła.

Wskazano na efekty redukcji wartości współczynnika wnikania ciepła wraz ze wzrostem udziału fazy olejowej w układzie, a także ze wzrostem użytecznej różnicy temperatury.

Zaproponowano sposób obliczania wartości współczynnika wnikania ciepła oparty na liczbach kryterialnych Nu , opisujących relację warunków wnikania ciepła do płynu dwufazowego ciecz – ciecz względem fazy ciągłej.

W modelu uwzględniono wpływ wszystkich parametrów opisujących osobliwości diabatyicznego przepływu dwufazowego, co zwiększa jego przydatność do praktycznych obliczeń procesowo-inżynierskich dla różnego rodzaju układów dyspersyjnych ciecz – ciecz.

LITERATURA

- Dybek B., 2011. *Wpływ zjawisk hydrodynamicznych na intensywność wnikania ciepła podczas przepływu układu ciecz-ciecz w rurze poziomej*, Sprawozdanie z projektu badawczego N.N512.361.134, Politechnika Opolska
- Filipczak G. i in., 2008. *Analiza zjawisk podczas wrzenia mieszaniny dwufazowej woda – olej*. *Przem. Chem.* **87**, nr 2, 105÷110
- Hapanowicz J., 2007. *Przepływ ciekłych układów dyspersyjnych*, Studia i Monografie, Wyd. Pol. Opolskiej, Opole