

P O L S K A   A K A D E M I A   N A U K  
I N S T Y T U T   M A S Z Y N   P R Z E P Ł Y W O W Y C H

PRACE  
I N S T Y T U T U   M A S Z Y N  
P R Z E P Ł Y W O W Y C H

T R A N S A C T I O N S  
O F   T H E   I N S T I T U T E   O F   F L U I D - F L O W   M A C H I N E R Y

80

W A R S Z A W A - P O Z N A Ń 1981

P A Ń S T W O W E   W Y D A W N I C T W O   N A U K O W E

---

**PRACE INSTYTUTU MASZYN PRZEPLYWOWYCH**

poświęcone są publikacjom naukowym z zakresu teorii i badań doświadczalnych w dziedzinie mechaniki i termodynamiki przepływów, ze szczególnym uwzględnieniem problematyki maszyn przepływowych

\*

**THE TRANSACTIONS OF THE INSTITUTE OF FLUID-FLOW  
MACHINERY**

exist for the publication of theoretical and experimental investigations of all aspects of the mechanics and thermodynamics of fluid-flow with special reference to fluid-flow machinery

---

**RADA REDAKCYJNA - EDITORIAL BOARD**

**TADEUSZ GERLACH · HENRYK JARZYNA · JERZY KRZYŻANOWSKI  
STEFAN PERYCZ · WOJCIECH PIETRASZKIEWICZ · ROMUALD PUZYREWSKI  
KAZIMIERZ STELLER (PRZEWODNICZĄCY - CHAIRMAN) · ROBERT SZEWAŁSKI  
JÓZEF ŚMIGIELSKI**

**KOMITET REDAKCYJNY - EXECUTIVE EDITORS**

**KAZIMIERZ STELLER - REDAKTOR - EDITOR  
WOJCIECH PIETRASZKIEWICZ · ZENON ZAKRZEWSKI  
ANDRZEJ ŻABICKI**

**REDAKCJA - EDITORIAL OFFICE**

Institut Maszyn Przeplywowych PAN  
ul. Gen. Józefa Fiszersa 14, 80-952 Gdańsk, skr. pocztowa 621, tel. 41-12-71

Copyright

by Państwowe Wydawnictwo Naukowe  
Warszawa 1981

Printed in Poland

ISBN 83-01-02692-8

ISSN 0079-3205

**PANSTWOWE WYDAWNICTWO NAUKOWE - ODDZIAŁ W POZNANIU**

Nakład 340+90 egz. Ark. wyd. 10. Ark. druk. 7,5 Papier druk. sat. kl. V,  
70 g. 70×100 cm. Oddano do składania 26 kwietnia 1980 r. Druk ukończono  
w lutym 1981 r. Zamówienie nr 486/34, T-2/778. Cena zł 40,-

---

**DRUKARNIA UNIWERSYTETU IM. ADAMA MICKIEWICZA W POZNANIU**

## WŁADYSŁAW TARASEWICZ

Gdańsk

## Wpływ lepkości na intensywność mieszania cieczy w przepływie\*

Na podstawie przeprowadzonych badań przepływowego mieszania olejów mineralnych o lepkości od 1,32 do 23,8 cSt opracowano korelację na współczynnik intensywności mieszania  $K$ , uwzględniając ilościowo — poza warunkami hydrodynamicznymi i konstrukcyjnymi mieszalnika typu strumienicy — także wpływ lepkości mieszanych strumieni. Pozwala ona przewidzieć długość kanału potrzebną do założenia stopnia przepływowego wymieszania dowolnych dwóch płynów.

## Wykaz oznaczeń

$a$	— wykładnik potęgi przy $(Re_1/Re_2)$ , (równ. (3)),		mieni na wlocie,
$b$	— wykładnik potęgi przy $Re$ (równ. (3)),	$R_0$	— wartość cechy mieszaniny doskonale wymieszanej,
$f$	— wykładnik potęgi przy $(v_w/v_m)$ , (równ. (3)),	$(Re_1/Re_2)$	= $w_1 dv_m/w_2(D-d)v_m$ — stosunek liczb Reynoldsa strumieni na wlocie (ale z lepkością mieszaniny),
$C$	— współczynnik proporcjonalności (równ. (3) i (8)),	$Re$	= $wD/v_m$ — liczba Reynoldsa mieszaniny,
$d$	— średnica dyszy doprowadzającej do kanału,	$w_1, w_2$	— prędkość oddzielnych strumieni (mieszanych) na wlocie,
$D$	— średnica mieszalnika rurowego,	$w$	— prędkość wytwarzanej mieszaniny,
$Im$	— średni w przekroju procentowy stopień wymieszania,	$V_1, V_2, V$	— strumienie objętościowe oddzielnych mieszanych składników i powstającej mieszaniny,
$K$	— współczynnik intensywności mieszania,	$v_1, v_2$	— kinematyczne współczynniki lepkości oddzielnych strumieni,
$n_D$	= $l/D$ — liczba średnic równoważna długości kanału, na której następuje wymieszanie do stopnia $Im$ ,	$v_m$	— kinematyczny współczynnik lepkości mieszaniny,
$R$	— wartość cechy mieszaniny rzeczywistej,	$v_w$	— kinematyczny współczynnik lepkości wody.
$R_p(R_1, R_2)$	— wartość cechy oddzielnych stru-		

\* Praca wykonana w ramach problemu węzłowego 03.7, na zlecenie koordynatora Instytutu Chemii Przemysłowej w Warszawie, przez zespół badawczy IMP PAN w składzie: B. Grochał, A. Jezierski, E. Śliwicki, W. Tarasewicz.

## Wprowadzenie

Mieszaniem nazywa się proces intensyfikowania w środowisku płynnym naturalnych ruchów konwekcyjnych, przez wywołanie tam prądów i wirów, które powodują wzajemne przemieszczanie i przenikanie sąsiadujących warstw. Jest to więc aktywacja mikroskopowych ruchów cząsteczkowych zwanych dyfuzją. W praktyce mieszanie wykorzystywane jest w dwóch celach: 1) do homogenizowania (ujednorodniania) substancji, 2) do przyspieszenia wymiany ciepła, masy i reakcji chemicznej.

Proces mieszania stosuje się w różnych kombinacjach trzech stanów skupienia. Można go prowadzić w sposób periodyczny (w zbiornikach) lub w sposób ciągły (przepływowo w „linii” technologicznej).

Niniejsza praca odnosi się do mieszania w sposób ciągły cieczy o innych niż woda lepkościach, w mieszalniku typu strumienicy, w celu uzyskania jednorodnej mieszaniny. Celem badań jest opracowanie korelacji między stanem wymieszania a warunkami prowadzenia procesu, pozwalającej racjonalnie projektować mieszalniki przepływowe.

### Mechanizm mieszania przepływowego

Mieszanie w przepływie od okresowego różni się tym, że uzyskiwany stopień wymieszania ciągłego rośnie wzdłuż drogi, a periodycznego — w czasie trwania tego procesu.

Funkcję na zmianę stanu wymieszania w przepływie podał Alexander ze współautorami [1, 2] opierając się na hipotezie Reichardta, który wykorzystał analogie przeniesienia ruchu, ciepła i masy w ośrodku ruchowym (zjawisk opisywanych równaniami różniczkowymi Naviera–Stokesa, Fouriera–Kirchhoffa oraz Ficka). Funkcja ta wskazuje, że stopień wymieszania zmienia się wykładniczo z długością mieszalnika, a mianowicie [3]:

$$(100 - Im) = 100 \cdot e^{-Kn_D}, \quad (1)$$

gdzie  $n_D = l/D$  — względna długość kanału,  $K$  — współczynnik intensywności mieszania. Im  $K$  jest większe, tym na krótszym odcinku mieszalnika osiąga się dany stopień wymieszania; jego wartość zależy od rozwiązania konstrukcyjnego doprowadzenia strumieni mieszanych do mieszalnika i własności hydrodynamicznych tych strumieni.

Z wykładniczego charakteru zależności wynika, że nie można określić długości  $n_D$ , na której nastąpi wymieszanie doskonałe (całkowity zanik odrębności, zachodzący teoretycznie w nieskończoności). Znając jednak  $K$  można obliczyć długość, na której osiągnie się dowolnie małą skończoną niejednorodność (czyli dostatecznie blisko 100-procentowe wymieszanie).

Ta wykładnicza funkcja na zmienność stopnia wymieszania jest analogiczna do:

a) zmienności koncentracji w periodycznym procesie mieszania  $C_A = C_{A0} \cdot e^{-k\tau}$ ,

b) rozpadu promieniotwórczego  $N_\tau = N_0 e^{-\lambda\tau}$ ,

c) szybkości reakcji chemicznej pierwszego rzędu  $C = C_0 \cdot e^{-kt}$ .

Rozwiązanie zagadnienia mieszania sprowadza się więc do znalezienia korelacji na współczynnik intensywności mieszania  $K$  z wpływającymi nań czynnikami.

Częściową próbę skorelowania współczynnika  $K$  podjął Hiby [4, 5]. Dla mieszania dwóch strumieni wody, płynących z taką samą prędkością w szklanej rurze o średnicy

19 mm, podał on zależność:

$$K = 1,89 \frac{(Re - 2300)^{0,61}}{Re} \quad (2)$$

Wykazał ponadto, że na  $K$  ma wpływ stosunek impulsów prędkości ( $w_1$ ) strumienia wpływającego do kanału do strumienia mieszaniny ( $w$ ) w kanale. Otrzymał w logarytmicznym układzie współrzędnych linię prostą o równaniu:  $\lg(100 - Im) = -0,2667 \sqrt{(w_1/w) \cdot n_D}$  (wartość 0,2667 odczytano z przebiegu tej funkcji). Stwierdził też, że ciągle mieszanie za pomocą nieruchomych kształtek\* również jest opisywane podobną funkcją, tzn.  $(100 - Im) = 100 \cdot e^{-K n_D}$ , podkreślając, że współczynnik  $K$  jest proporcjonalny do oporów przepływu – im większy opór, tym większe  $K$ , czyli intensywniejsze zachodzi mieszanie.

Hiby zauważył też, że konstrukcja wkładek wpływa na wartość współczynnika  $K$ , przy czym

$$K_K > K_p > K_S.$$

Podobna nierówność dotyczy oporu przepływu, tzn.

$$\Delta p_K > \Delta p_p > \Delta p_S.$$

Indeksy oznaczają:  $K$  – kształtka Kenics (wstęgowy mieszalnik śrubowy),  $S$  – kształtka Schaschlika (przegrody w formie trapezu, ustawione na przemian podstawą przy ścianie),  $p$  – napływ strumienia promieniowo do osi kanału.

Pełniejszą korelację na współczynnik  $K$ , bo uwzględniającą także wpływ impulsów prędkości wlotowych i średnic dyszy i kanału, wyprowadzono na podstawie poprzednich badań [6] mieszania dwóch strumieni wodnych o współosiowym napływie w mieszalniku typu strumienicy, a to w postaci

$$K = C(D/d)(Re_1/Re_2)^a Re^b, \quad (3)$$

gdzie

$$a = 0,55,$$

$$C = 0,25 \quad \text{dla} \quad (Re_1/Re_2) \leq 1 \quad \text{i} \quad C = 0,75 \quad \text{dla} \quad (Re_1/Re_2) > 1,$$

$$b = -0,40 \quad \text{przy} \quad Re < 2000 \quad \text{i} \quad b = -0,25 \quad \text{przy} \quad Re \geq 2000.$$

Znaczenie innych wielkości występujących we wzorze (3) podano w wykazie oznaczeń.

Charakter tej funkcji (forma zależności od  $Re$ ) wskazuje na identyczny związek współczynnika intensywności mieszania  $K$  ze współczynnikiem oporu  $\lambda_{op}$  – im większy współczynnik oporu, tym większa intensywność mieszania.

Dla przepływu burzliwego ( $Re = 3 \cdot 10^3 \div 10^5$ ) przez rury gładkie według Blasiusa [7]

$$\lambda_{op} = A Re^{-0,25} = 0,316 \cdot Re^{-0,25}, \quad (4)$$

przy tym w rurach szorstkich współczynnik  $A$  jest odpowiednio większy od 0,316 (dla rur

\* Nieruchome kształtki mieszające – specjalnie ukształtowane elementy przestrzenne, których struktura i geometria powodują wielokrotny podział strugi na mniejsze i zmianę kierunku ich przepływu (tj. skręcenie i zawirowanie).

np. stalowych ze znaczną korozją  $A=0,5$  i więcej); dla przepływu laminarnego  $\lambda_{op}=64/Re$  i nie zależy od szorstkości.

Równania te odnoszą się do przypadku przepływu przez kanały bez uwzględnienia oporów na wlocie, tzn. przy wlocie do kanału obu strumieni przez jednakowe części przekroju i z identyczną prędkością. Wówczas

$$K = C \frac{D}{D/2} Re^{-0,25} = A Re^{-0,25}. \quad (*)$$

Celem porównania doświadczalnych wartości  $K$  z obliczonymi wzorami (\*) przyjęto dla warunków badań Hiby'ego (wlot z tą samą prędkością przez dwa równe przekroje do rury szklanej o średnicy 19 mm) następujące wartości współczynnika  $A$ :

$A=0,316$  – jak w równaniu Blasiusa dla rur gładkich,

$A=2C=0,5$  – otrzymany z badań w rurach ze szkła organicznego,

$A=2C=0,4$  – wartość przyjęta dla rur szklanych (szkło organiczne).

Porównanie obliczonych w ten sposób wartości  $K$  z wartościami doświadczalnymi (tab. 1) wskazuje na doskonałą zgodność w przypadku zastosowania  $A=0,4$ , jeśli pominąć niewy tłumaczalne w badaniach Hiby'ego [4, 5] wystąpienie  $K_{maks}$  przy  $Re=8000$ . Dowodzi to właściwie dobranej formy zależności na współczynnik intensywności mieszania  $K$

Tabela 1

Re	$K_d$	$K_o$		
		$A=0,316$	$A=0,5$	$A=0,4$
17 000	0,0360	0,0276	0,0438	0,03504
11 000	0,0410	0,0308	0,0488	0,0454
6 000	0,0440	0,0358	0,0568	0,0454
4 500	0,0400	0,0385	0,0610	0,0488
3 000	0,0340	0,0426	0,0676	0,05408

$K_o$  – współczynnik intensywności mieszania obliczony,  $K_d$  – doświadczalny.

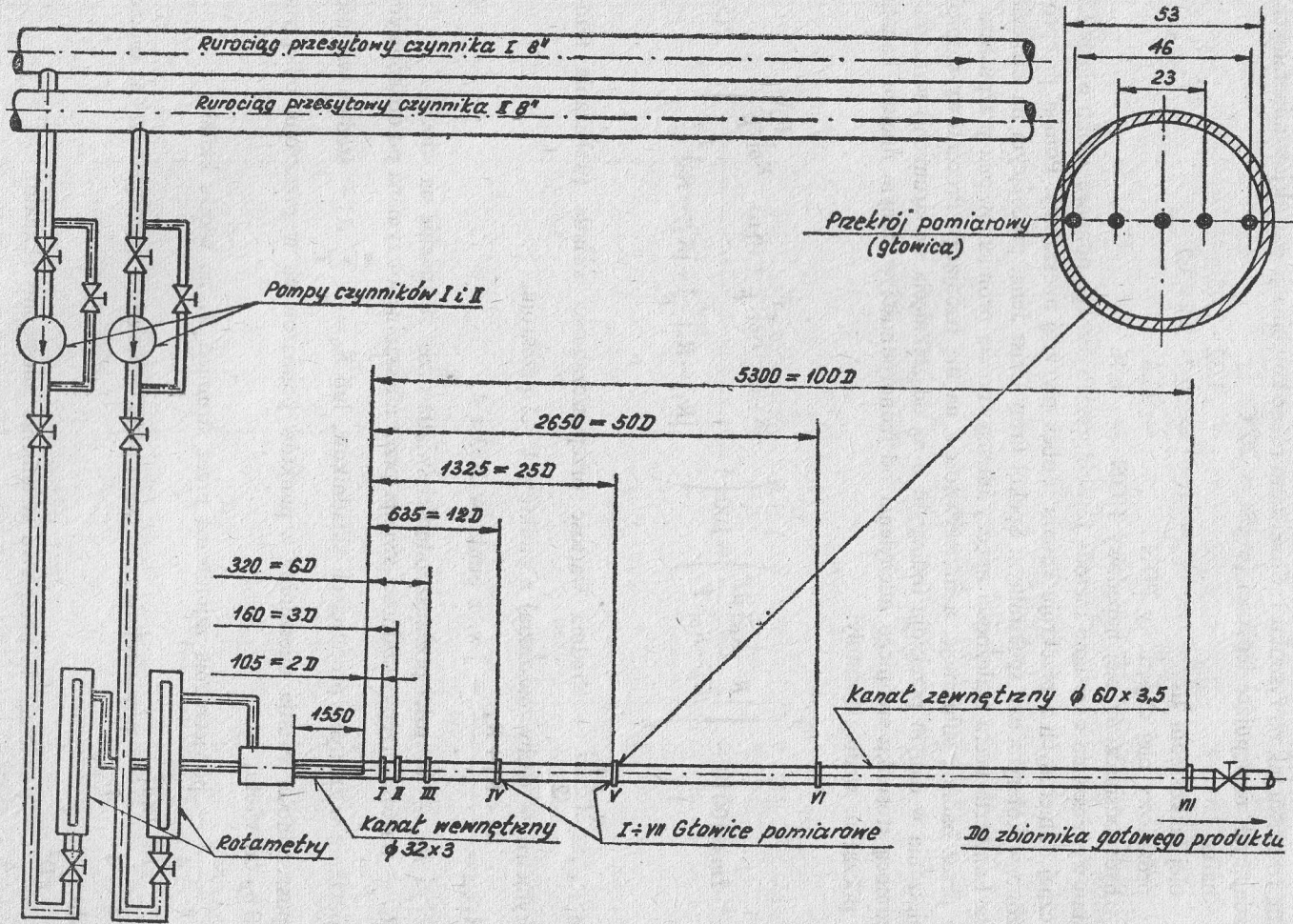
(równoznaczny ze współczynnikiem oporu  $\lambda_{op}$ ) bez istnienia oporów wlotowych (równe średnice, równe prędkości).

W przypadku wystąpienia oporów wlotowych (impulsy prędkości i wpływ wielkości średnic) wzrosnie sumaryczny opór przepływu i tym samym współczynnik intensywności mieszania  $K$ , co właśnie ujmuje opracowana korelacja.

Przedmiotem opisanych badań jest mieszanie olejów mineralnych celem ustalenia ilościowego wpływu lepkości mieszanych strug na współczynnik intensywności mieszania  $K$ .

### Zestaw doświadczalny i metodyka badań

Badania wykonywano w mieszalniku rurowym poziomym, ze współosiowym wprowadzeniem cieczy do kanału, na terenie Wydziału Kompozycji Produktów Gdańskich Zakładów Rafineryjnych. Zestaw badawczy przedstawia schemat (rys. 1). Mieszalnik stanowiła rura o średnicy wewnętrznej 53 mm, z dyszą  $\varnothing 26/32$  mm. W siedmiu odległo-



Rys. 1. Zestaw badawczy do pomiarów mieszania w przepływie olejów mineralnych

ściach od wlotu mieszanych strumieni pobierano próbki mieszaniny w 5 punktach przekroju według rozstawu jak na rysunku 1. Stosowano różne kombinacje par olejów mineralnych, posiadających następujące lepkości (w cSt w 20°C):

nafta	— 1,32 - 1,45
olej lekkośredni L5	— 2,7 - 2,8 - 3,2
próżniowy olej napędowy PON	— 23,8
hydroodsiarczony olej napędowy HON	— 6,16

Stan wymieszania określano metodą fotokolorymetrycznego pomiaru zmian własności optycznej odbieranych z przekroju kanału próbek płynącej mieszaniny. Pomiar przeprowadzono w kolorymetrze spektralnym Spekol firmy Zeiss Jena, pracującym na zasadzie prawa Lamberta-Beera (zależności między intensywnością promieniowania przepuszczalnego przez badaną substancję, a intensywnością na nią padającą). Procentowy stopień wymieszania w danym przekroju (odległym o  $n_D$  od zetknięcia się strumieni) wyrażono za pomocą stosunku średniego odchylenia od jednorodności w danym miejscu kanału  $i$  na początku, według formuły:

$$Im = 100 \left( 1 - \int_0^F \frac{|R - R_0|}{|R_p - R_0|} \frac{dF}{F} \right) = 100 \left( 1 - \frac{|\bar{R}_{2,3,4} - R_0| \frac{F_1}{F} + |\bar{R}_{1,5} - R_0| \frac{F_2}{F}}{|R_{1p} - R_0| \frac{F_1}{F} + |R_{2p} - R_0| \frac{F_2}{F}} \right), \quad (5)$$

gdzie  $R_{1,5} = \frac{R_1 + R_5}{2}$  — średnia wartość przepuszczalności światła (wskazania fotokolorymetru — cechy mieszania) z punktów 1 i 5 przekroju,

$$R_{2,3,4} = \frac{R_2 + R_3 + R_4}{3} \text{ — j.w. z punktów 2, 3 i 4,}$$

$R_{1p}$  i  $R_{2p}$  — wartości przepuszczalności światła przez strumienie na wlocie,

$R_0$  — wartość przepuszczalności światła przez mieszaninę, otrzymana po doskonałym wymieszaniu w znanych proporcjach składników, lub  $R_0 = \frac{1}{m} \sum_1^m R$  — średnia wartość przepuszczalności światła mieszaniny z punktów pomiarowych w przekroju, odległym o  $100 n_D$  od wlotu,

$$F_1 = \frac{\pi d_1^2}{4} \text{ — powierzchnia zajmowana przez strumień } R_1 \text{ na wlocie kanału,}$$

$$F_2 = \frac{\pi D^2}{4} - \frac{\pi d_1^2}{4} \text{ — powierzchnia zajmowana przez strumień } R_2 \text{ (pierscieniowa) na wlocie kanału,}$$

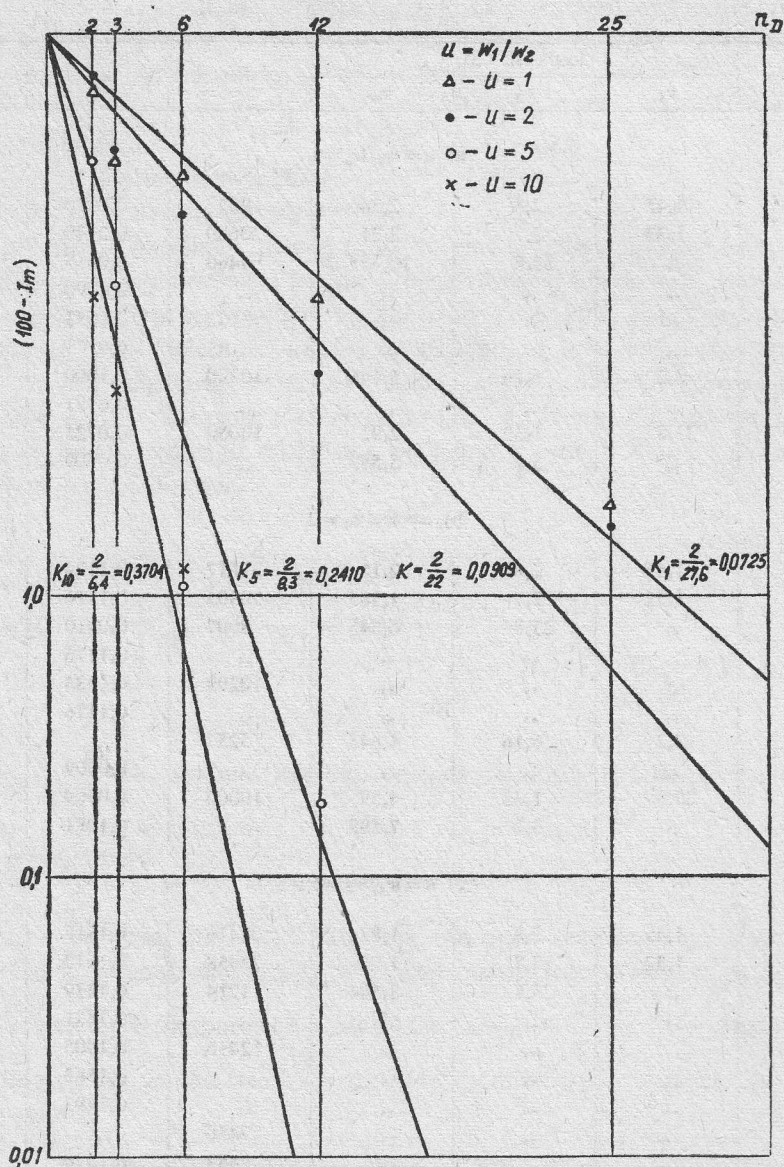
$$F = \frac{\pi D^2}{4} \text{ — powierzchnia przepływu strumienia mieszaniny (kanału).}$$

Tak zdefiniowany stopień wymieszania pozwala wyrazić stan wymieszania w całym przedziale zmian, tj. od 0 do 100%, podając procentowe zbliżenie wartości cechy do jej wartości po doskonałym wymieszaniu, czyli  $R = R_0 \pm 0,01(100 - Im)R_0$ .



Tabela 2

Data	Lepkość cSt			Re	K <sub>d</sub>	K <sub>o</sub>
	$\nu_1$	$\nu_2$	$\nu_m$			
a) $u = w_1/w_2 = 1$						
3. 7. 78	1,45	2,8	2,34	19827	0,0970	0,0510
6. 7.	1,32	2,7	2,21	20680	0,0770	0,0490
7. 7.	„	23,8	10,755	4460	0,0815	0,0879
11. 7.	„	„	„	„	0,0890	„
13. 7.	„	„	„	8182	0,1053	0,0755
15. 7.	„	„	„	„	0,0775	„
19. 7.	3,2	6,16	5,146	10390	0,1000	0,0780
20. 7.	„	„	„	„	0,0781	„
4. 8.	23,8	1,32	2,92	10000	0,0725	0,1120
9. 8.	„	3,2	5,553	„	0,0909	0,1225
b) $u = w_1/w_2 = 2$						
3. 7. 78	1,45	2,8	2,11	27817	0,1124	0,1264
6. 7.	1,32	2,7	1,985	20305	0,1176	0,1287
7. 7.	„	23,8	6,845	8907	0,0910	0,1138
11. 7.	„	„	„	„	0,1176	„
13. 7.	„	„	„	10299	0,1333	0,1030
15. 7.	„	„	„	„	0,1176	„
19. 7.	3,2	6,16	4,645	5257	„	0,1345
20. 7.	„	„	„	„	0,0909	„
4. 8.	23,8	1,32	4,59	10000	0,0909	0,0924
9. 8.	„	3,2	7,598	„	0,1081	0,0777
c) $u = w_1/w_2 = 5$						
3. 7. 78	1,45	2,8	1,82	22416	0,1818	0,2060
6. 7.	1,32	2,7	1,69	23858	0,1617	0,2080
7. 7.	„	23,8	3,584	11214	0,1429	0,1324
11. 7.	„	„	„	„	0,1481	„
13. 7.	„	„	„	12416	0,1905	0,1290
15. 7.	„	„	„	„	0,1563	„
17. 7.	„	„	„	„	0,1493	„
„	„	„	„	7450	„	0,1467
„	„	„	„	2483	0,1890	0,2026
19. 7.	3,2	6,16	4,013	5266	0,2174	0,2075
20. 7.	„	„	„	„	0,2000	„
4. 8.	23,8	1,32	8,76	5000	0,2410	0,2422
9. 8.	„	3,2	11,896	„	0,2222	0,2120
d) $u = w_1/w_2 = 10$						
17. 7. 78	1,32	23,8	2,432	12485	0,1667	0,1595
19. 7.	3,2	6,16	3,669	20812	0,2275	0,2077
4. 8.	23,8	1,32	13,0	5000	0,3704	0,4247
9. 8.	„	3,2	15,61	„	0,3226	0,3096

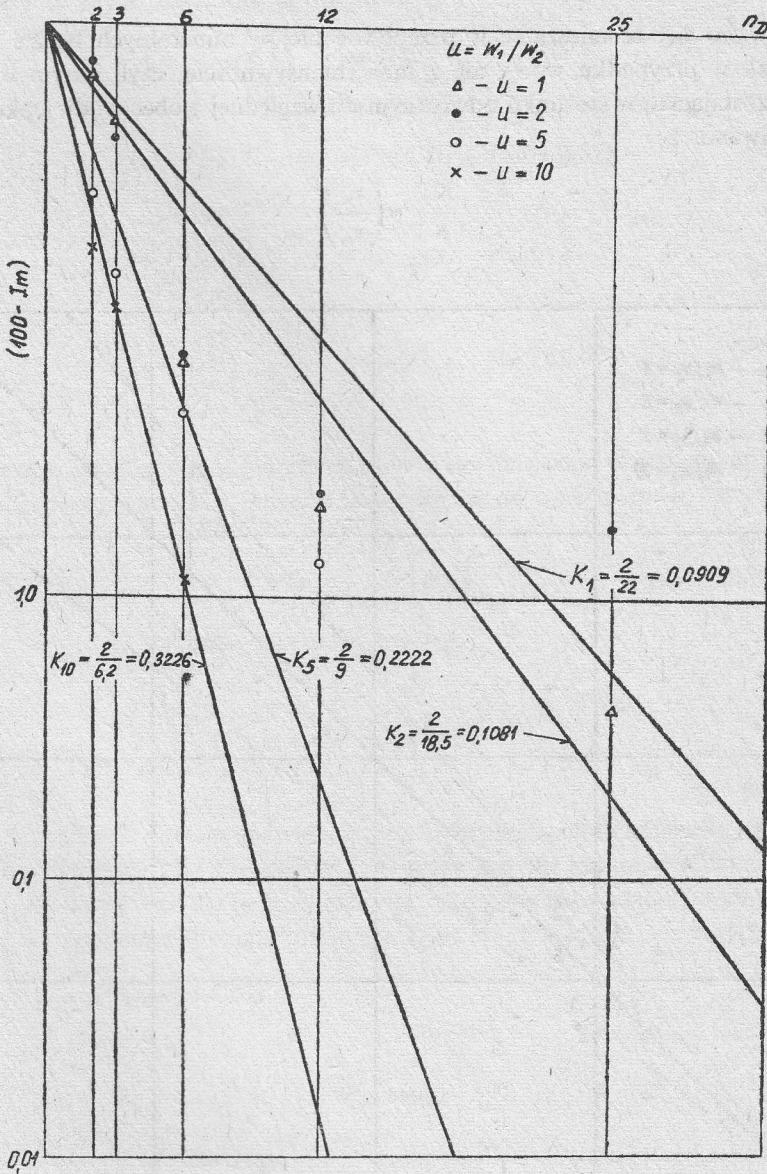


Rys. 2a. Przykłady pomiarów z dnia 4. 08. 1978 r.

$$\log(100 - Im) = f(n_D)$$

Wyniki pomiarów zestawiono na protokołach, oddzielnych dla każdej pary mieszanych olejów.

Ze sporządzonych wykresów  $\lg(100 - Im) = f(n_D)$  – przykłady z pomiarów z dnia 4. 08. i 9. 08. 1978 r. (rys. 2) – odczytano wartości współczynnika intensywności mieszania  $K$ . W tabeli 2 zestawiono te wartości dla przebadanych stosunków prędkości wlotowych strumieni  $u = w_1/w_2 = 1, 2, 5$  i 10, z charakterystyką mieszanych olejów (lepkością) i liczbą



Rys. 2b. Przykłady pomiarów z dnia 9. 08. 1978 r.  
 $\log(100 - I_m) = f(n_D)$

Re dla mieszaniny. Lepkość mieszaniny obliczono według wzoru Arrheniusa

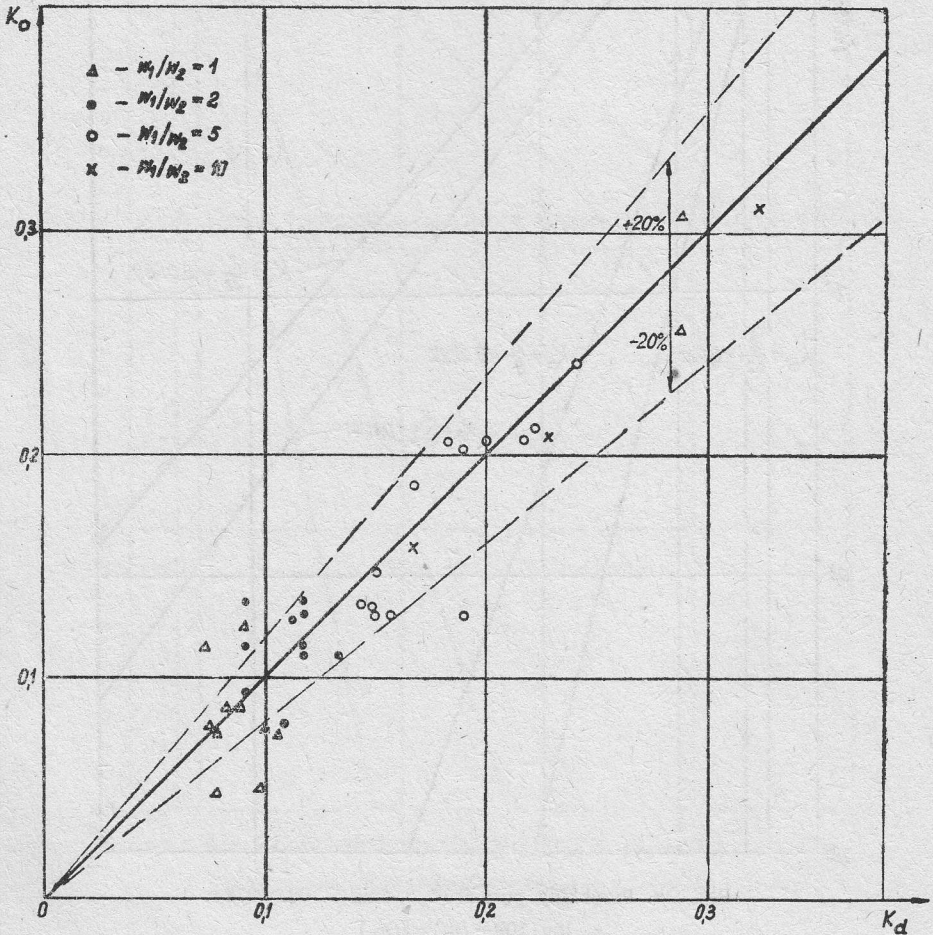
$$\lg \nu_m = \frac{V_1}{V} \lg \nu_1 + \frac{V_2}{V} \lg \nu_2 + \dots + \frac{V_n}{V} \lg \nu_n, \quad (6)$$

tj. za pomocą addytywności logarytmu lepkości poszczególnych strumieni (przy uwzględnieniu jako wagi stosunku  $V_1/V$ ).

### Korelacja wpływu lepkości na współczynnik intensywności mieszania $K$

Spodziewano się, że mieszanie w przepływie olejów mineralnych będzie przebiegało podobnie jak w przypadku wody, ale z inną intensywnością, czyli innym współczynnikiem  $K$ , pozostającym w stosunku odwrotnym do względnej wobec wody lepkości olejów. Stąd oczekiwano, że

$$\frac{K_{o1}}{K_w} = \left( \frac{v_w}{v_m} \right)^f \quad (7)$$



Rys. 3.  $K_o = f(K_d)$

Jak wykazano uprzednio, wpływ parametru lepkości na współczynnik  $K$  zaznacza się wykładnikami:  $a$  – stosunku liczb  $Re$  strumieni mieszanych na wlocie  $(Re_1/Re_2)^a$  i  $b$  – liczby  $Re$  powstającej mieszaniny  $(Re)^b$ .

W następstwie wykonanej analizy otrzymano, że wykładnik  $f$  zmienia się odpowiednio do charakterystycznych zakresów, a mianowicie:

$$\begin{aligned} (Re_1/Re_2) \leq 1 \quad Re < 2000 \quad f = 0,55 \\ (b = -0,40) \\ (a = 0,55) \quad Re \geq 2000 \quad f = (-0,37) \\ (b = -0,25) \\ (Re_1/Re_2) > 1 \quad Re < 2000 \quad f = 0,73 \\ (b = -0,40) \\ (a = 0,55) \quad Re \geq 2000 \quad f = 0,45 \\ (b = -0,25) \end{aligned}$$

Tak więc równanie na współczynnik intensywności mieszania olejów mineralnych (a należy się spodziewać, że również innych różniących się od wody płynów) przyjmuje postać

$$K = C \frac{D}{d} \left( \frac{Re_1}{Re_2} \right)^a Re^b \left( \frac{v_w}{v_m} \right)^f, \quad (8)$$

gdzie

$$\left( \frac{v_w}{v_m} \right)^f = \left( \frac{v_m v_w}{v_1 v_2} \right)^f, \quad \text{gd}y \quad v_1 \neq v_2 \neq v_m,$$

tzn., gdy lepkości mieszanych strumieni nie są jednakowe i różne od lepkości wody ( $v_w = 1 \text{ cSt}$ ).

Powyzsza zależność została sprawdzona dla mieszania olejów mineralnych w zakresie  $Re \geq 2000$  (burzliwym) i  $1 > (Re_1/Re_2) > 1$ . W tabeli 2 obok kolumny  $K_d$  znajduje się kolumna  $K_o$ , tj.  $K$  obliczonego dla tych samych warunków według podanej korelacji. Wartości  $K_d$  układają się zgodnie z funkcją korelującą (rys. 3), ze średnim rozrzutem  $\Delta = \pm 20\%$ .

Praca wpłynęła do Redakcji w listopadzie 1978 r.

#### Literatura

- [1] L. G. Alexander, F. W. Comings, H. L. Grimmet, E. A. White, *Transfer of momentum in jet of air issuing into a tube*. Techn. Report No. 11, 1952.
- [2] H. Reichardt, *Zeit. f. ang. Math. Mech.*, 21, (1941), 257.
- [3] J. Lee, R. S. Brodkey, *A. I. Ch. E. J.* 10, (1964), 187.
- [4] J. W. Hiby, *Mischung in turbulenter Rohrströmung*, *Verfahrenstechnik*, 4 No 12, (1970), 538.
- [5] H. Hartung, J. W. Hiby, *Beschleunigung der turbulenten Mischung in Rohren*. *Chem. Ing. Techn.*, 44, No 18, (1972), 1051.
- [6] W. Tarasewicz, *Intensywność mieszania cieczy (newtonowskich) w przepływie*. *Zeszyty Naukowe IMP PAN*, nr 78 (979), 1979.
- [7] J. Ciborowski, *Inżynieria chemiczna*, wyd. I, PWT, s. 48, (1955).
- [8] S. Bretsznajder, *Własności gazów i cieczy*, WNT, s. 565, (1962).

## Влияние вязкости на интенсивность смешивания жидкости в течении

### Резюме

Проведены экспериментальные исследования смешивания в течении, при соосном натекании потоков, пяти различающихся вязкостью паров минеральных масел в пределах от 1,32 до 23,8 сст. Измерения проводились в горизонтальном миксере типа эжектора при отношении диаметров  $D/d = 53/26$ , отношении скоростей смешиваемых потоков  $u = w_1/w_2 = 1, 2, 5, 10$  и числах Рейнольдса смеси  $Re = 2400 \div 29000$ . Состояние смешения определяется формулой (5), в которой  $Im$  обозначает среднюю по сечению процентную степень смешения,  $F$  — поле поверхности течения потока смеси,  $R$  — значение черты реальной смеси,  $R_0$  — значение черты идеально смешанной смеси,  $R_p$  — значение черты смешиваемых потоков (значения  $R, R_0, R_p$  — определяются соответствующей световой проницаемостью среды).

Устанавливается, что:

- степень смешения масел изменяется вдоль проточного канала, согласно с функцией (1);
  - корреляцию на коэффициент интенсивности смешения жидкости  $K$  можно выразить формулой (8), в которой  $\nu_w$  обозначает кинематический коэффициент вязкости воды, а  $\nu_m$  — кинематический коэффициент вязкости смеси,
  - учет формулы (8) позволяет правильно конструировать проточный миксер типа эжектора.
- Обсуждаемая корреляция требует проверки ее применимости в случае смешивания более чем двух жидких компонентов и проверки смешивания газов.

## Influence of the Viscosity on the Flow Mixing Intensity

### Summary

The flow mixing has been investigated experimentally for five mineral oils of different viscosities ranging from 1.32 to 23.8 cSt, and mixing of the streams in a coaxial arrangement. Measurements were done in a horizontal mixing device of ejector type, characterized by the diameter  $D/d = 53/26$ . The ratio of velocities of oil jets was  $u = w_1/w_2 = 1, 2, 5, 10$ , the Reynolds number of the mixture varied from  $Re = 2400$  to 29 000. The state of mixing was determined according to formula (5), where  $Im$  is the mean, averaged over the cross-section (percent), degree of mixing,  $F$  is the mixture flow cross-section area,  $R$  is the value of a feature of the actual mixture,  $R_0$  is the value of the feature of a perfectly mixed mixture,  $R_p$  is the value of the feature for mixed streams (values of  $R, R_0$  and  $R_p$  are determined based on the transmissivity of the medium).

The following results were obtained:

- the degree of mixing of oils varied along the channel according to the exponential law (1),
- the correlation for the liquid mixing intensity coefficient  $K$  can be described by (8), where  $\nu_w$  is the kinematic viscosity coefficient for water, and  $\nu_m$  is the kinematic viscosity coefficient of the mixture,
- formula (8) makes it possible to correctly design a fluid-flow mixing device of ejector type.

The correlation obtained should be verified for the case of more than two liquid components and for gaseous mixtures.