

Krystyna JEŻOWIECKA-KABSCH\*, Henryk MELOCH\*\*, Henryk ZALEWSKI\*  
Politechnika Wrocławska

#### WPLYW PULSACJI STRUGI NA INTENSYFIKACJĘ PROCESU KOALESCENCJI

**Streszczenie:** W pracy przedstawiono koncepcję intensyfikacji procesu koalescencji poprzez pulsację dwufazowej strugi (powietrze - krople oleju). Zaprezentowano stanowisko i metodykę badawczą oraz przytoczono wyniki badań służące weryfikacji tej koncepcji.

#### 1. Wstęp

Znaczne rozdrobnienie mgły olejowej stanowi istotną przyczynę w osiągnięciu zadawalających skuteczności jej separacji. Dokonanie wstępnej korekty składu granulometrycznego mgły poprzez intensyfikację koalescencji jej kropeł może wpłynąć na podwyższenie efektywności procesu separacji. Jedną z takich możliwości wydaje się być wprowadzenie cząstek mgły olejowej w niestacjonarną strugę powietrza, charakteryzującą się pulsacjami o niskiej częstotliwości.

#### 2. Aeromechaniczne czynniki wywołujące koalescencję cząstek

Wokół cząstek, poruszających się w układzie polidispersyjnym, wytwarzają się niejednorodne pola aerodynamiczne, wzajemnie oddziaływujące na siebie. Cząstka "wpadająca" w ślad aerodynamiczny opada szybciej niż cząstka opadająca swobodnie. Ten efekt wywołuje grawitacyjną koalescencję cząstek, o ile ich środki ciężkości znajdują się na wspólnej linii sił pola ciężkości.

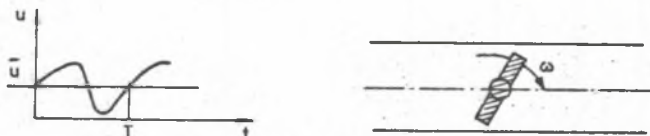
W procesach koalescencji rola efektu "wciągania" w ślad aerodynamiczny może być wielokrotniona w przypadku, kiedy w rozproszonym ośrodku pojawią się siły skierowujące lekkie cząstki w ślad aerodynamiczny cząstek cięższych. Siły takie mogą być wywołane np. turbulencją ośrodka rozpraszającego. Fluktuacje turbulentne mogą dodatkowo przyspieszyć koalescencję elektrostatyczną poprzez zniszczenie otoczki poruszającej się cząstki [1].

Z fizycznego punktu widzenia wpływ turbulencji na intensyfikację procesu koalescencji polega na tym, że w rozpatrywanej przestrzeni pojawiają się lokalne wzrosty koncentracji cząstek wywołane fluktuacją, co prowadzi między innymi do zmiany prędkości koalescencji w porównaniu z zagadnieniem stacjonarnym. Sprzyjać to może w efekcie szybszemu pojawieniu się cząstek większych.

### 3. Koncepcja metody koalescencji cząstek mgły olejowej

Przedstawione rozważania wskazują, że intensyfikacja procesu koalescencji cząstek jest możliwa poprzez podniesienie stopnia turbulencji przepływającego aerozolu (w szczególności polidispersyjnego).

Jednym ze sposobów turbulizacji strugi może być wymuszenie pulsacji poprzez okresowe zaburzenia wywołane mechanicznie obracającą się przysłoną umieszczoną w przewodzie doprowadzającym powietrze z mgłą olejową. Wytwarza się w ten sposób strugę niestacjonarną - pulsującą, charakteryzującą się stałym kierunkiem prędkości o module zmieniającym się okresowo (rys. 1). Prędkość oscyluje więc w czasie  $t$  wokół



Rys. 1. Charakterystyka strugi pulsującej.

wartości średniej  $\bar{u}$ . Według [2,3] pulsacja podnosi intensywność turbulencji strugi, przy czym najwyższą ( $\epsilon \approx 40\%$ ) uzyskać można przy pulsacjach o niskiej częstotliwości (do 20 Hz).

Należy zatem sądzić, że wytworzenie niestacjonarnego przepływu aerozolu powietrze - mgła olejowa poprzez wywołanie jego pulsacji o niskiej częstotliwości może prowadzić do intensyfikacji procesu koalescencji cząstek mgły olejowej.

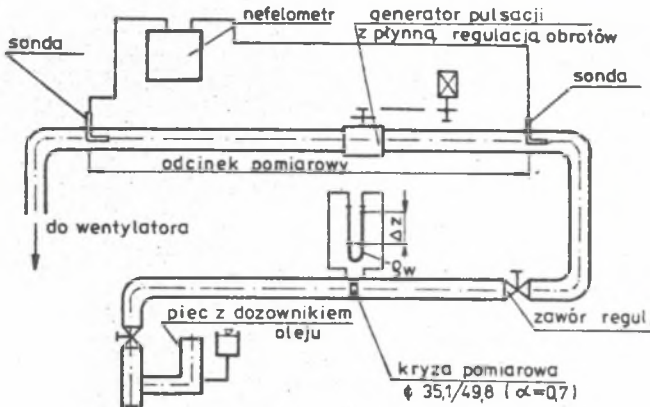
### 4. Stanowisko i metodyka badań

Celem weryfikacji postawionej hipotezy podjęto próbę jakościowego określenia wpływu fluktuacji turbulentnych, wywołanych pulsacją dwufazowej strugi, złożonej z powietrza oraz cząstek mgły olejowej, na względną zmianę wielkości cząstek.

Badania koalescencji mgły olejowej przeprowadzono na stanowisku przedstawionym schematycznie na rys. 2. Zaprojektowane stanowisko umożliwiło:

- regulację natężenia przepływu aerozolu (w zakresie do  $Q=0,054 \text{ m}^3/\text{s}$ ) oraz jego pomiar,
- wytworzenie okresowych zaburzeń przepływu aerozolu o regulowanej i utrzymywanej na odpowiednim poziomie częstotliwości,
- pobór próbek gazu zawierającego mgłę olejową oraz
- nefelometryczny pomiar koncentracji masowej mgły olejowej.

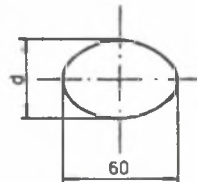
Pomiary względnej zmiany wielkości cząstek wykonywano metodą pośrednią, przyjmując zgodnie z prawem Reyleigha [4], że miarą zwiększenia się promieni cząstek i ewentualnej zmiany ich gęstości rozmieszczenia w czasie koalescencji jest zmętnienie zolu. Stopień zmętnienia może być określony liczbowo poprzez intensywność światła w określonym zakresie widma. Natężenie światła rozproszonego mierzono nefelometrycznie. Okresowe zaburzenia przepływu aerozolu wywoływano pulsatorem. Wymienne elementy





Rys. 2. Schemat stanowiska badawczego

odcinka badawczego i pulsatora umożliwiły zmianę parametrów generowanej strugi. Odpowiednie warianty konstrukcyjne generatora pulsacji oznaczano jak na rys. 3.

Symbol	d, mm	$A_w/A_c$
S1	58	~3 %
S2	56	~7 %
S3	53	~11 %
S4	50	~16 %



\*  $A_w/A_c$  stosunek pola przekroju wolnego, kiedy przysłona przesłania maksymalnie przekrój rurociągu do pola przekroju rurociągu

Symbol	Charakterystyka przewodu za przysłoną
K1	 niezmienna średnica $\phi 60$ mm
K3	 rozszerzenie $\phi 60 / \phi 80$ mm

Rys. 3. Zestawienie wariantów konstrukcyjnych generatora pulsacji

Zastosowany napęd elektryczny umożliwił płynną regulację obrotów przysłony od 0 do  $10 \text{ s}^{-1}$ , co odpowiadało częstotliwości przemykania przysłony 0-20  $\text{s}^{-1}$ , a zatem częstotliwości pulsacji strugi 0-20 Hz.

W celu uproszczenia rozważań i jakościowej interpretacji wyników pomiarów przyjęto następujące założenia:

- intensywność światła rozproszonego na rzeczywistym zbiorze cząstek polidispersyjnych odpowiada intensywności światła rozproszonego na zbiorze cząstek monodispersyjnych o jednakowej średnicy równej średniej średnicy liniowej cząstek zbioru polidispersyjnego,
- periodyczne zaburzenia przepływu strugi aerozolu nie powodują zmian koncentracji masowej cząstek, natomiast zmiany intensywności światła rozproszonego mierzone nefelometrycznie świadczą o zmianach koncentra-

cji ilościowej i rozmiarów cząstek; stanowią one zatem miarę stopnia koalescencji,

- koncentracja cząstek mierzona nefelometrycznie przy pulsacyjnym przepływie aerozolu traktowana jest jako pozorna koncentracja masowa.

Oznaczając przez:

$d$  - średnią średnicę liniową cząstki,  $s$  - koncentrację masową,

$N$  - koncentrację ilościową cząstek w gazie,  $\rho$  - gęstość oleju oraz indeksami

1 - wielkości odniesione do przepływu stacjonarnego,

2 - wielkości odniesione do przepływu pulsującego,

zauważamy, że koncentracja masowa mgły olejowej, zdefiniowana jako stosunek masy oleju do jednostkowej objętości aerozolu, wynosi:

$$\frac{\pi d_1^3}{6} \rho N_1 = \frac{\pi d_2^3}{6} \rho N_2 = s = \text{const} \Rightarrow \frac{d_2}{d_1} = \sqrt[3]{\frac{N_1}{N_2}} \quad (1)$$

ponadto 
$$\frac{\pi d_1^3}{6} \rho N_1 = s_1 \quad (2)$$

oraz 
$$\frac{\pi d_1^3}{6} \rho N_2 = s_2', \quad (3)$$

gdzie:  $s_2'$  - pozorna koncentracja masowa przy włączonym pulsatorze zmierzona nefelometrycznie.

Dzieląc stronami zależności (3) i (2) otrzymujemy;

$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{s_2'}{s_1}, \quad (4)$$

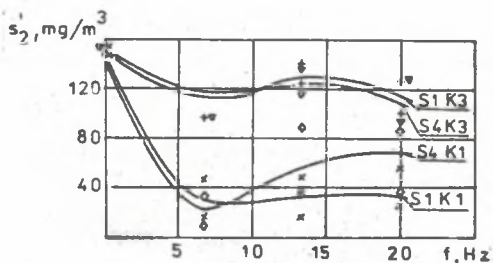
a zatem względna zmiana średnicy cząstek  $d_2/d_1$  jest proporcjonalna do  $\sqrt[3]{s_1/s_2'}$ .

##### 5. Analiza badań weryfikujących

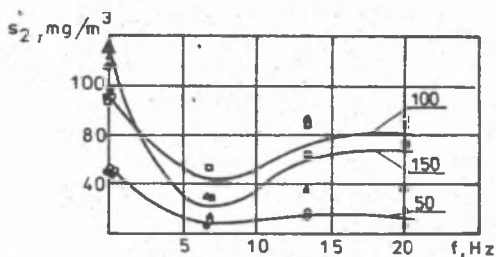
Badania przeprowadzono przy natężeniu przepływu scharakteryzowanym liczbą Reynoldsa  $Re = 5,7 \cdot 10^4$ . Przy zadanych koncentracjach początkowych  $s = 50, 100, 150 \text{ mg/m}^3$  i przy określonych wariantach konstrukcyjnych, będących odpowiednią kombinacją wariantów przysłony S1, S4 oraz ukształtowania przewodu za przysłoną K1, K3, zadawano częstotliwości pulsacji strugi od 0 (odpowiadającej strudze stacjonarnej) do 20 Hz. Odczytywane wskazania nefelometru pozwoliły:

- kontrolować koncentrację generowanej mgły olejowej w strudze stacjonarnej,
- określać koncentrację pozorną przy zadanej częstotliwości pulsacji.

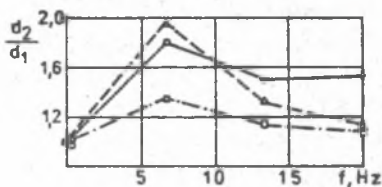
Z zamieszczonych w [5] wyników badań na uwagę zasługują wykresy: rys. 4, przedstawiający wpływ wariantów konstrukcyjnych na wartość koncentracji pozornej, rys. 5, obrazujący zależność wartości pozornej koncentracji masowej od częstotliwości pulsacji przy najkorzystniejszym



Rys. 4. Wpływ wariantów konstrukcyjnych na wartość koncentracji pozornej ( $s=150 \text{ mg/m}^3$ )



Rys. 5. Zależność pozornej koncentracji masowej od częstotliwości pulsacji - wariant S4K1



Rys. 6. Zależność względnej średniej wielkości cząstek od częstotliwości pulsacji - wariant S4K1  
 $\circ$  -  $s = 50 \text{ mg/m}^3$ ,  
 $\square$  -  $s = 100 \text{ mg/m}^3$ ,  
 $\triangle$  -  $s = 150 \text{ mg/m}^3$

wariantie konstrukcyjnym S4K1 oraz rys. 6, będący graficzną ilustracją zmian względnej średniej wielkości cząstek wywołanych pulsacją strugi.

Wyniki badań wskazują, że częstotliwość pulsacji strugi, a zatem intensywność jej turbulencji istotnie wpływa na zmiany pozornej koncentracji masowej fazy dyspersyjnej, stanowiąc ważki czynnik intensyfikacji procesu koalescencji. Wyraźny wpływ oddziaływania pulsacji widoczny jest przy jakościowej analizie wyników badań wariantu S4K1 w zakresie maksymalnych intensywności turbulencji, odpowiadających (zgodnie z [2]) częstotliwościom pulsacji  $5 \pm 10 \text{ Hz}$ ; obserwuje się wówczas maksymalne zwiększenie średniej średnicy liniowej cząstek.



## 6. Wnioski

Analiza aeromechanicznych czynników wywołujących koalescencję, rezultaty dotychczasowych prac [2,3] dotyczących strug pulsujących oraz wyniki badań weryfikujących (jakościowych) pozwalają sformułować następujące wnioski:

- źródłem intensyfikacji koalescencji perikinetycznej mogą być fluktuacje turbulentne, wywołane pulsacją strugi aerozolu,
- w zakresie częstotliwości pulsacji  $5\pm 10$  Hz obserwuje się znaczne obniżenie pozornej koncentracji masowej, co odpowiada powiększeniu średniej średnicy liniowej cząstek mgły olejowej,
- intensyfikacja procesów koalescencji poprzez wymuszanie pulsującego przepływu aerozolu wydaje się jedną z korzystniejszych dróg podwyższenia skuteczności separacji cząstek aerozoli ciekłych, w tym także mgły olejowej.

## 7. Literatura

- [1] Vološčuk V.M., Sedunov J.; Processy koagulacji v dispersnych sistemach, Gidrometeoizdat, Leningrad 1975
- [2] Favre - Marinet M.; Structure des jets pulsants, Thèse de Docteur - Ingénieur, Institut de Mécanique de Grenoble, 1975
- [3] Ginevskij A.C.; Teorije turbulentnych struj i sledov, Mašinostrojenie, Moskva 1969
- [4] Kuhn A. (red.); Chemia koloidów, PWN Warszawa 1957
- [5] Meloch H., Kabach P., Kaczmarek K.; Opracowanie sposobu oraz podstaw konstrukcji urządzeń do separacji mgły olejowej emitowanej w procesach obróbki mechanicznej z zastosowaniem w procesie oczyszczania kontaktorów iniekcyjnych. Etap II. Raporty Instytutu Inżynierii Ochrony Środowiska Politechniki Wrocławskiej, Seria SPR Nr 21/83, Wrocław 1983.

\* - Instytut Techniki Ciepłej i Mechaniki Płynów

\*\* - Instytut Inżynierii Ochrony Środowiska

ВЛИЯНИЕ ПУЛЬСАЦИИ СТРУИ НА ИНТЕНСИФИКАЦИЮ  
ПРОЦЕССА КОАЛЕСЦЕНЦИИ

Р е з ю м е

В работе предложена концепция интенсификации процесса коалесценции путем пульсации двухфазной струи воздух - капли масла. Представлено также модель и методику исследования.

THE EFFECT OF THE STREAM PULSATION ON THE INTENSIFICATION  
OF THE COALESCENCE PROCESS

S u m m a r y

The paper presents a conception of the intensification of the coalescence process through the pulsation of a two phase air-oil-drops stream. The type of work-stand and research methodology are given.