

RYSZARD WILK

Katedra Podstaw Techniki Ciepłej

KRYTERIA OKREŚLAJĄCE ŚREDNICE KROPEL
ROZPYLONEGO PALIWA CIEKŁEGO

Streszczenie. Za pomocą analizy wymiarowej wyprowadzono kryteria określające średnicę kropeł rozpylonego paliwa ciekłego przy rozpylaniu ciśnieniowym, strumienicowym i mikroimpulsowym. Określono także średnicę kropeł w funkcji gęstości zraszania.

1. Wstęp

W procesie spalania paliwa ciekłego ważnym jest proces składowy jakim jest rozpylenie. Badania procesu rozpylania paliwa najczęściej przeprowadza się na zimno, ponieważ jest to znacznie łatwiejsze.

Proces rozpylania cieczy można podzielić na trzy stadia [6]. Pierwsze stadium polega na odpowiednim ukształtowaniu strugi wypływającej z rozpylacza. W drugim stadium następuje zaburzenie powierzchni strugi, powstawanie na niej fal z rosnącą amplitudą i rozpad strugi na krople (jest to rozpad pierwotny). W trzecim stadium krople znajdujące się we względnym ruchu w stosunku do ośrodka ulegają deformacji i następnie rozczłonkowaniu pod działaniem sił dynamicznych (rozpad wtórny).

Zaburzenie powierzchni strugi następuje w wyniku działania sił wewnętrznych i zewnętrznych. Siły wewnętrzne pochodzą od wirów turbulentnych w strudze, siły zewnętrzne zaś są pochodnymi od sił aerodynamicznych, drgań własnych dyszy, drgań akustycznych otoczenia itp. Na mechanizm rozpadu wpływa działanie siły napięcia powierzchniowego, w wyniku której każdy kształt poza kulą jest niestabilny. Wskutek działania wszystkich tych sił powstaje zaburzenie, któ-

rego amplituda rośnie, struga zaczyna drgać i przy pewnej długości fali, przekraczającej obwód strugi niezaburzonej (dla cieczy nielepkiej), następuje rozpad cieczy na krople.

Ze względu na sposób rozpylania rozróżnia się następujące rozpylacze: ciśnieniowe (z komorą wirową lub bez komory), strumieniowe (pneumatyczne), obrotowe, mikroimpulsowe i elektryczne.

Rozpylacz ciśnieniowy bez komory wirowej w najprostszej postaci składa się z przewodu zakończonego dyszą o otworze cylindrycznym. Struga cieczy wypływa z dyszy i pod wpływem różnicy ciśnień zostaje rozdrobniona na krople. Przy rozpylaniu ciśnieniowym z komorą wirową przepływająca ciecz otrzymuje moment ilości ruchu względem osi dyszy. Po wyjściu z dyszy tworzy stożkową błonę, a następnie po jej rozerwaniu stożkową żagiew paliwa. Przy rozpylaniu strumieniowym wykorzystuje się strugę dodatkowego czynnika (powietrze sprężone, para lub gaz). Podczas rozpylania obrotowego ciecz doprowadzona jest na wirującą powierzchnię i spływa z niej pod działaniem siły odśrodkowej. W rozpylaczach mikroimpulsowych generator drgań zakłóca powierzchnię strugi wypływającej z rozpylacza i wytwarza na niej fale z rosnącą amplitudą co prowadzi do rozpadu strugi na krople.

Przy rozpylaniu elektrycznym struga przechodzi przez pole elektryczne, a w naładowanej elektrycznie kropki powstają siły skierowane przeciwnie do napięcia powierzchniowego, które doprowadzają do rozdrobnienia, jeżeli przewyższą siły napięcia powierzchniowego. Proces ten trwa tak długo, aż wartość sił napięcia powierzchniowego nie przekroczy sił wynikających z działania ładunku elektrycznego.

Proces rozpylania jest zjawiskiem statystycznym. Na jego przebieg wpływają wielkości kontrolowane takie, jak: geometria rozpylacza, własności cieczy rozpylanej, ciśnienie zasilania, drgania mikroimpulsowe itp. oraz wielkości niekontrolowane, np. wiry turbulentne w strudze, drgania własne dyszy, drgania akustyczne w otoczeniu itp. Krople jako produkt końcowy procesu rozpylania mają nie-

jednakowe średnice. Istnieje wiele sposobów określenia średniej średnicy kropeł. Jednym z nich jest średnia m a s o w a średnica kropeł

$$\bar{d} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i d_i}{\sum_{i=1}^n m_i} \quad (1)$$

gdzie:

m_i - masa kropli o wymiarze d_i .

2. Średnica kropeł przy rozpylaniu ciśnieniowym

W literaturze [2] i [6] podano gotową zależność między średnią średnicą \bar{d} i pozostałymi wielkościami w formie liczb kryterialnych. W pracy niniejszej przedstawiono dla wprowadzenia do rozważanych zagadnień sposób wyprowadzenia tej zależności za pomocą analizy wymiarowej oraz twierdzenia Buckingham'a (teoremat II) [1] [3].

Dla procesu rozpadu strugi na krople nie jest znane odpowiednie równanie fizyczne. Dlatego posłużono się, mimo jej niedoskonałości [4], analizą wymiarową, mając na uwadze to, że ostatecznym sprawdzianem będzie eksperyment.

Na podstawie doświadczenia ustalono, że na proces rozdrabniania mają wpływ (poza geometrią rozpylacza) następujące wielkości fizyczne:

D - [m]	- charakterystyczny wymiar rozpylacza, np. średnica dyszy paliwowej,
\bar{d} - [m]	- średnia masowa średnica kropli,
w [$\frac{m}{s}$]	- prędkość wypływu cieczy względem ośrodka, do którego wpada struga,
σ [$kg \cdot s^{-2}$]	- współczynnik napięcia powierzchniowego cieczy,
ϱ_1 [$kg \cdot m^{-1} \cdot s^{-1}$]	- dynamiczny współczynnik lepkości cieczy,
ϱ_2 [$kg \cdot m^{-1} \cdot s^{-1}$]	- dynamiczny współczynnik lepkości ośrodka,
ϱ_1 [$kg \cdot m^{-3}$]	- gęstość cieczy,
ϱ_2 [$kg \cdot m^{-3}$]	- gęstość ośrodka.

Liczba występujących wielkości fizycznych $n = 8$.

Wymiary wielkości fizycznych zawierają $m = 3$ jednostki podstawowe SI: m, kg, s. Należy się spodziewać równania fizycznego w postaci $n-m = 5$ bezwymiarowych wyrażeń K :

$$f(K_1, K_2, K_3, K_4, K_5) = 0 \quad (2)$$

Za wielkości podstawowe przyjęto D , w , ϱ_2 , które są wymiarowo niezależne oraz zawierają wszystkie jednostki podstawowe m, kg, s. Z pozostałych 5 wielkości fizycznych utworzono 5 bezwymiarowych iloczynów

$$K_1 = \bar{d} D^{a_1} w^{b_1} \varrho_2^{c_1}$$

$$K_2 = \sigma D^{a_2} w^{b_2} \varrho_2^{c_2}$$

$$K_3 = \varrho_1 D^{a_3} w^{b_3} \varrho_2^{c_3}$$

$$K_4 = \varrho_2 D^{a_4} w^{b_4} \varrho_2^{c_4}$$

$$K_5 = \varrho_1 D^{a_5} w^{b_5} \varrho_2^{c_5}$$

Z warunku bezwymiarowości K dochodzi się do następujących kryteriów:

$$K_1 = \frac{\bar{d}}{D}$$

$$K_2 = \frac{\sigma}{w^2 \varrho_2 D}$$

$$K_3 = \frac{\varrho_1}{w \varrho_2 D}$$

$$K_4 = \frac{\rho_2}{w \rho_2 D}$$

$$K_5 = \frac{\rho_1}{\rho_2}$$

$$f\left(\frac{\bar{d}}{D}, \frac{\sigma}{w \rho_2 D}, \frac{\rho_1}{D w \rho_2}, \frac{\rho_2}{D w \rho_2}, \frac{\rho_1}{\rho_2}\right) = 0 \quad (3)$$

Dla uzyskania dogodnej podstawy do interpretacji funkcji (3) można np. liczbę K_4 zastąpić przez $K'_4 = K_3/K_4 = \rho_1/\rho_2$ oraz wprowadzić:

$$K'_3 = \frac{K_3^2}{K_2 K_5} = \frac{\eta_1^2}{D \rho_1^6}$$

Po dokonaniu podstawień oraz po przekształceniach funkcję (3) można przedstawić następująco:

$$\frac{\bar{d}}{D} = f\left(\frac{w^2 \rho_2 D}{\sigma}, \frac{D \rho_1^6}{\rho_1^2}, \frac{\rho_2}{\rho_1}, \frac{\rho_2}{\rho_1}\right) \quad (4)$$

Wyrażenie $We = \frac{w^2 \rho_2 D}{\sigma}$ jest liczbą Webera. Jest ona miarą stosunku sił dynamicznych ośrodka do sił napięcia powierzchniowego. Stanowi więc kryterium określające rozpad wtórny.

Liczba Laplace'a $Lp = \frac{D \rho_1^6}{\rho_1^2}$ jest miarą stosunku sił napięcia

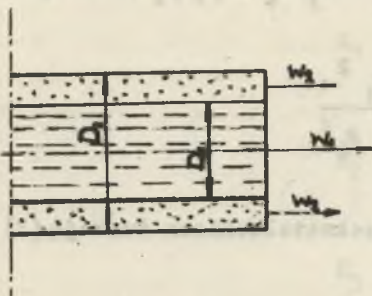
powierzchniowego do sił lepkości dynamicznej. Liczby $K'_4 = \rho_2/\rho_1$ oraz $K'_5 = \frac{\rho_2}{\rho_1}$ są to sympleksy lepkości i gęstości. Spotyka się zastosowanie następującej zależności między Lp , We , K'_5 a Re [6]:

$$Re = \sqrt{Lp \frac{We}{K'_5}}$$

W literaturze [1], [2], [6] można spotkać szczegółową postać funkcji (4) dla rozpylaczy ciśnieniowych (z komorą wirową i bez komory), obrotowych i elektrycznych. Nie spotyka się jednak wzorów, które przy pomocy liczb kryterialnych przedstawiałyby średnią średnicę dla rozpylaczy strumieniowych i mikroimpulsowych. Dlatego w oparciu o analizę wymiarową podjęto próbę przedstawienia funkcji typu (4) dla tych rozpylaczy.

3. Rozpylanie strumieniowe

Do rozważań przyjęto tu, że czynnikiem rozpylającym oraz ośrodkiem, do którego wpada struga jest powietrze. Schematycznie przed-



Rys. 1

stawiono rozpylacz strumieniowy na rysunku 1. Przewodem o średnicy D_1 płynie z prędkością w_1 ciecz, a przewodem pierścieniowym o średnicy zewnętrznej D_2 płynie z prędkością w_2 struga powietrza.

Założono, że istnieje funkcja następujących wielkości fizycznych:

$$f(D_1, D_2, \bar{d}, w_1, w_2, \rho_1, \rho_2, \eta_1, \eta_2, \sigma) \quad (5)$$

gdzie:

- | | |
|--|---|
| D_1, D_2 [m] | - charakterystyczne wymiary dyszy cieczy oraz powietrza, |
| \bar{d} [m] | - średnia średnica kropli, |
| w_1, w_2 [m s ⁻¹] | - prędkości (względem ośrodka) wypływu cieczy oraz rozpylającego powietrza, |
| ρ_1, ρ_2 [kg m ⁻³] | - gęstość cieczy oraz gęstość ośrodka (równa gęstości rozpylającego powietrza), |
| η_1, η_2 [kg m ⁻¹ s ⁻¹] | - współczynnik lepkości dynamicznej cieczy oraz ośrodka (równy współczynnikowi lepkości dynamicznej rozpylającego powietrza), |
| σ [kg s ⁻²] | - współczynnik napięcia powierzchniowego cieczy. |

Jako wielkości podstawowe przyjęto D_1, w_1, ϱ_2 . Liczba bezwymiarowych wyrażeń $n-m = 7$. W oparciu o analizę wymiarową oraz po przeprowadzeniu kilku kombinacji wyrażeń bezwymiarowych K uzyskano następującą postać funkcji na średnią średnicę:

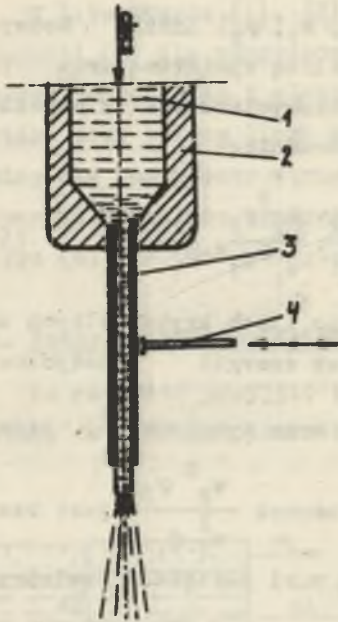
$$\frac{\bar{d}}{D} = \varphi\left(\frac{w_1^2 \varrho_2 D_1}{\sigma}, \frac{D \varrho_1 \sigma}{\varrho_1^2}, \frac{\varrho_2}{\varrho_1}, \frac{\varrho_2}{\varrho_1}, \frac{w_2^2 \varrho_2}{w_1^2 \varrho_1}, \frac{D_2}{D_1}\right) \quad (6)$$

Funkcja ta obok występujących poprzednio liczb kryterialnych zawiera dwie nowe liczby, mianowicie stosunek energii kinetycznej rozpylającego powietrza i cieczy $\frac{w_2^2 \varrho_2}{w_1^2 \varrho_1}$ oraz sympleks $\frac{D_2}{D_1}$, który dla tego samego rozpylacza jest stały. Stosunek $\frac{w_2^2 \varrho_2}{w_1^2 \varrho_1}$ jest bezwymiarową miarą energii kinetycznej, jaką musi posiadać powietrze rozpylające aby mogło rozdrobnić strugę.

4. Rozpylacze mikroimpulsowe

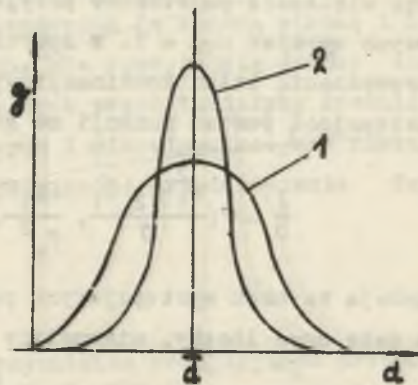
W rozpylaniu mikroimpulsowym, którego schemat przedstawiono na rysunku 2, organiom dyszy nadaje się charakter kontrolowany. Drgania własne dyszy są szumami. Istnieje więc możliwość kontroli średnic kropeł przez zmianę częstotliwości drgań. Zadana częstotliwość ogranicza wpływ niekontrolowanych wielkości i należy oczekiwać, że rozkład średnic będzie bardziej równomierny w porównaniu z innymi sposobami rozpylania. Przedstawione jest to na rysunku 3 we współrzędnych gęstość prawdopodobieństwa $g(d)$, średnica kropeł d . Krzywa 1 przedstawia rozkład średnicy kropeł przy rozpylaniu ciśnieniowym zaś krzywa 2 przy rozpylaniu mikroimpulsowym. Z porównania obu linii wynika, że rozkład średnic kropeł przy rozpylaniu mikroimpulsowym jest bardziej równomierny.

Wyznaczenie funkcji $g(d)$ wymaga znajomości liczby kropeł o średnicy d . Jest to bardzo żmudne i mało dokładne przy pomiarze dużych kropeł, ponieważ niewielki błąd w czasie pomiaru liczby tych kropeł nie wpływa na charakter krzywej, mimo że masa tych kropeł



Rys. 2

1 - komora 2 - kadłub,
3 - dyszka, 4 - element
wzbudzający drgania



Rys. 3

może przewyższać masę wszystkich pozostałych kropeł. Dlatego rezultaty pomiarów całego rzędu średnic kropeł charakteryzuje się sumaryczną krzywą masową, dla określenia której najbardziej rozpowszechniła się formuła Rosina-Rammlera:

$$R = \exp - \left(\frac{d}{\bar{d}} \right)^m \quad (7)$$

gdzie:

d - średnica kropeł,

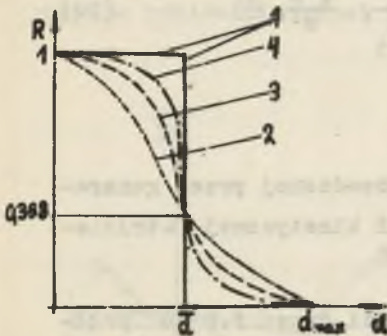
R - stosunek masy kropeł o średnicy większej od d do masy wszystkich kropeł,

\bar{d} - średnia średnica kropeł, która odpowiada $R = 0,368$,

m - doświadczalnie wyznaczony wykładnik potęgowy.

Zależność $R = f(d)$ przedstawiono na rysunku 4. Na rysunku tym przyjęto, że średnia średnica dla wszystkich rozważanych przypadków jest taka sama. Linia 1 odpowiada teoretycznemu przypadkowi, gdy struga składa się z kropeł o tej samej średnicy. Wówczas $m = \infty$. Dla rzeczywistego, tzn. nierównomiernego rozkładu średnic kropeł m posiada wartość skończoną. Im bardziej jest rozkład nierównomierny

tym wykładnik m jest mniejszy. Linia 2 przedstawia rozkład średnic przy rozpylaniu ciśnieniowym bez komory wirowej ($m = 2 \div 4$).



Rys. 4

Linia 3 odpowiada rozpylaniu cieniowemu z komorą wirową ($m = 8$) [2], zaś linia 4 przedstawia rozkład średnic przy rozpylaniu mikroimpulsowym. W tym rozpylaniu wykładnik m ma wartość prawdopodobnie większą.

W celu wyprowadzenia funkcji typu (4) założono, że dla określenia rozpylania mikroimpulsowego istnieje następująca funkcja wielkości fizycznych:

$$f(D, w, \varrho_1, \varrho_2, \rho_1, \rho_2, \sigma, f, A, \dot{E}) = 0 \quad (8)$$

gdzie:

$f \left[\frac{1}{s} \right]$ - częstotliwość drgań,

$A [m]$ - amplituda drgań,

$\dot{E} [kg \cdot m^2 \cdot s^{-3}]$ - moc doprowadzona przez generator drgań do dyszki o masie m w celu wywołania drgań tej dyszki z amplitudą A i częstotliwością f .

Pozostałe oznaczenia jak w punkcie 2.

Wprowadzenie wielkości \dot{E} uzasadnia się tym, że jest ona bardziej praktyczna od masy drgającej dyszki.

Przyjmując za wielkości podstawowe D, w, ϱ_2 uzyskano następującą funkcję wielkości fizycznych:

$$\frac{\dot{d}}{D} = f \left(\frac{w^2 \varrho_2 D}{\sigma}, \frac{D \varrho_1 \sigma}{\rho_1^2}, \frac{\varrho_2}{\varrho_1}, \frac{\rho_2}{\rho_1}, \frac{\dot{E}}{D^2 w^3 \varrho_2}, \frac{fD}{w}, \frac{A}{D} \right) \quad (9)$$

W celu lepszej interpretacji liczby kryterialnej $\frac{\dot{E}}{D^2 w^3 \varrho_2}$ zastępuje się ją następującą:

$$\frac{\dot{E}}{D^2 w^3 \varrho_2 \varrho_1} = \frac{\dot{E}}{D^2 w^3 \varrho_1}$$

Wówczas

$$\frac{d\dot{m}}{D} = f \left(\frac{w^2 \varrho_2 D}{\sigma}, \frac{D \varrho_1 \sigma}{\gamma_1^2}, \frac{\varrho_2}{\varrho_1}, \frac{\rho_2}{\rho_1}, \frac{\dot{E}}{D^2 w^3 \varrho_1}, \frac{f D}{w}, \frac{A}{D} \right) \quad (10)$$

gdzie:

$\frac{\dot{E}}{D^2 w^3 \varrho_1}$ - jest miarą stosunku mocy doprowadzonej przez generator drgań do dyszki do energii kinetycznej strumienia cieczy,

$\frac{f D}{w}$ - jest stosunkiem pewnej prędkości drgań $f \cdot D$ do prędkości wypływu,

$\frac{A}{D}$ - jest sympleksem geometrycznym.

Moc doprowadzona do dyszki \dot{E} jest proporcjonalna do wyrażenia $m A^2 f^2$. Jeżeli rozpatruje się tę samą dyszkę ($m = \text{idem}$), wówczas amplituda A pozostaje określona przez \dot{E} oraz f , więc sympleks A/D wypadnie z równania (10) jako stała.

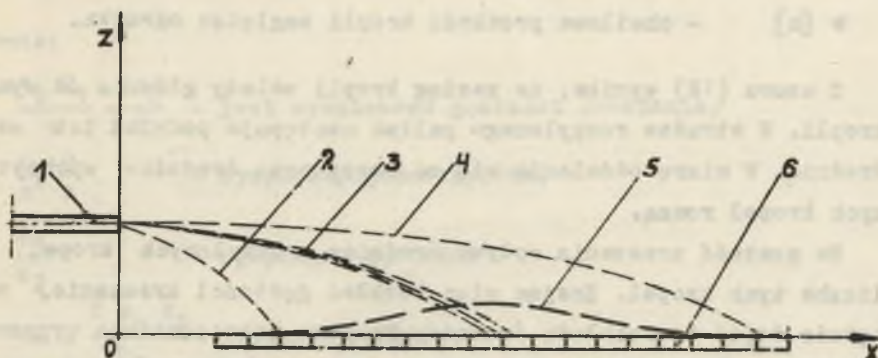
Szczegółowa postać funkcji (10), (6) i (7) wymaga oczywiście badań doświadczalnych. Eksperyment wykaże, które z występujących wielkości fizycznych mają istotny wpływ. Analiza wymiarowa dała tu tylko wskazówkę jak uporządkować niewiadome. Dała wytyczne dla badań modelowych.

5. Określenie średniej masowej średnicy kropeł w zależności od gęstości zraszania.

Rozpyloną strugę można charakteryzować także gęstością zraszania. Jest to strumień rozpylonej cieczy przechodzący przez element o jednostkowej powierzchni:

$$q = \frac{\dot{G}}{A} \quad [\text{kg m}^{-2} \text{ s}^{-1}] \quad (11)$$

Wielkość tę można rozpatrywać w dowolnej płaszczyźnie przecinającej rozważaną strugę pod dowolnym kątem. Np. może to być płaszczyzna pozioma (rysunek 5) względem poziomo ułożonego rozpylacza.



Rys. 5

1 - rozpylacz, 2 - tor małych kropeł, 3 - tor średnich kropeł, 4 - tor dużych kropeł, 5 - rozkład gęstości zraszania, 6 - wanna chwytająca krople

Rozpatrzyć zostanie ruch nieparujących kropeł.

Struga rozpylonej cieczy składa się z dwóch części. W początkowej części bardzo krótkiej, (jak wykazują badania [2]) strugę można rozpatrywać jako całość, nie wydzielając z niej drobnych kropeł. W drugiej części odległości między kroplami rosną, ruch ich staje się niezależny i można opisywać go jako ruch oddzielnych kropeł. W pewnym przekroju kończy się rozpylanie wtórne. W dalszym ruchu kropla pozostaje pod wpływem sił dynamicznych oraz sił lepkości dynamicznej ośrodka. Współdziałanie tych sił wpływa na zasięg kropli, który dla rozpylaczy ciśnieniowych bez komory wirowej wynosi [2], [6]:

$$x = \frac{2,67 d^{1,5} \rho_1}{a_k v_2^{0,5} \rho_2} \sqrt{w} \quad (12)$$

gdzie:

- d [m] - średnica kropeł,
 a_k - stała bezwymiarowa zależna od formy geometrycznej,
 ν_2 [m² s⁻¹] - współczynnik lepkości kinematycznej ośrodka,
 w [m] - chwilowa prędkość kropli względem ośrodka.

Z wzoru (12) wynika, że zasięg kropli zależy głównie od wymiaru kropli. W strudze rozpylonego paliwa następuje podział ich według średnic. W miarę oddalania się od rozpylacza średnice wychwytywanych kropeł rosną.

Na gęstość zraszania wpływa średnica rozpylonych kropeł oraz liczba tych kropeł. Znając więc rozkład gęstości zraszania, można będzie dojść do rozkładu średnic. Funkcja taka zostanie wyprowadzona dla rozpylacza ciśnieniowego, dla rozkładu gęstości zraszania w osi wanny chwyatającej krople.

Założono tu, że istnieje następująca funkcja wielkości fizycznych

$$f(w_0, q, x, z, D, \bar{d}, \rho_1, \rho_2, \nu_2, g) = 0 \quad (13)$$

gdzie:

- w_0 [m s⁻¹] - prędkość początkowa strugi względem ośrodka,
 x, z [m] - współrzędne układu,
 q [kg m⁻² s⁻¹] - gęstość zraszania w elemencie c powierzchni A i o współrzędnych x, z ,
 \bar{d} [m] - średnia masowa średnica kropeł,
 D [m] - charakterystyczny wymiar np. średnica dyszy,
 ρ_1, ρ_2 [kg m⁻³] - gęstość cieczy oraz ośrodka,
 ν_2 [kg m⁻¹ s⁻¹] - lepkość dynamiczna ośrodka,
 g [m s⁻²] - przyspieszenie ziemskie.

Liczba bezwymiarowych wyrażań $n-m = 7$.

$$f(K_1, K_2, K_3, K_4, K_5, K_6, K_7) = 0 \quad (14)$$

Przyjmując za wielkości podstawowe D , w_0 , q_1 , uzyskano następującą funkcję wyrażen bezwymiarowych:

$$\frac{\bar{n}}{D} = \varphi\left(\frac{w_0 q_1}{q}, \frac{D}{x}, \frac{D}{z}, \frac{q_1}{q_2}, \frac{D w_0 q_2}{\rho_2}, \frac{w_0^2}{g D}\right) \quad (15)$$

gdzie:

$$\frac{w_0^2 q_1}{q} = \frac{q_0}{q} \quad - \text{jest sympleksem gęstości zraszania,}$$

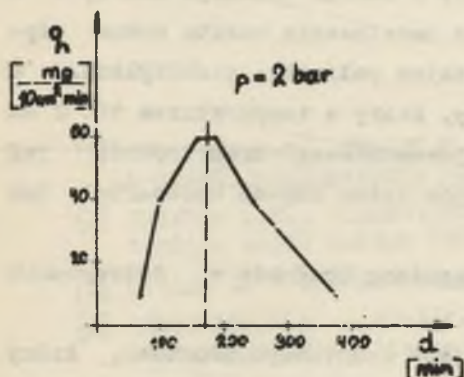
$$\frac{D}{x}, \frac{D}{z} \quad - \text{sympleksy geometryczne,}$$

$$\frac{q_1}{q_2} \quad - \text{sympleksy gęstości}$$

$$Re = \frac{D w_0 q_2}{\rho_2} \quad - \text{liczba Reynoldsa,}$$

$$Fr = \frac{w_0^2}{g D} \quad - \text{liczba Froude'a.}$$

Zależność (15) jest wygodna ze względów praktycznych, ponieważ pomiar gęstości zraszania jest stosunkowo prosty. W zależności tej uwzględniona jest siła ciężkości, ponieważ siła ta zakrzywia tor kropeli. Dlatego wystąpiła liczba Froude'a.



Rys. 6

Z teorii prawdopodobieństwa wiadomo, że wokół średniej wielkości skupia się największa liczba pomiarów. Dlatego największa gęstość zraszania winna odpowiadać średniej masowej średnicy kropel całej populacji. Na podstawie danych zawartych w pracy [5] wykonano wykres zależności średnicy kropel od gęstości zraszania.

Z rysunku 6 widać, że maksymalnej gęstości zraszania odpowiada wielkość, która jest średnią masową średnicą kropel całej populacji. Każdej innej wielkości q odpowiadają dwie wartości średnic

kropel. Dla rozróżnienia tych wielkości w zależności (15) występuje sympleks D/x .

Dla tej samej rozpylanej cieczy w tym samym ośrodku oraz przy tym samym położeniu rozpylacza nad wanną funkcja (15) upraszcza się bowiem $q_1/q_2 = \text{idem}$ oraz $\frac{D}{z} = \text{idem}$.

6. Wnioski

Rozważania zamieszczone w niniejszym artykule należy traktować jako teoretyczny wstęp do zamierzonych badań doświadczalnych. Miały one na celu wykrycie oraz uporządkowanie wielkości fizycznych wywierających wpływ na proces rozdrabniania strugi cieczy. Jak już wspomniano we wstępie, badania eksperymentalne procesu rozpylania przeprowadza się najczęściej na zimno (bez zapalania strugi), bowiem obserwacja tego zjawiska na gorąco jest bardzo trudna.

Wśród metod badań rozpylania istnieje sposób, polegający na wychwytywaniu kropel cieczy zestalających się w ośrodku gazowym. Jako substancji modelujących ciecz należy używać takich substancji, które w określonych warunkach termicznych mają napięcie powierzchniowe, lepkość i gęstość takie same jak modelowana ciecz (oryginał). Np. parafina w temperaturze 91°C dobrze modeluje naftę, a w temperaturze 70°C olej dieslowy. Do modelowania mazutu można używać cerezyny 57 z odpowiednim dodatkiem polimeru izobutyleny. W pracy [5] stosowano kwas benzoesowy, który w temperaturze 180°C ma taki sam współczynnik napięcia powierzchniowego oraz lepkość jak mazut. Do modelowania ciężkich olejów można używać betanaftol lub metylonaftalen.

Należy tu zwrócić uwagę na następującą trudność w dotrzymaniu warunków podobieństwa.

W procesie spalania rozpylanie jest cząstkowym procesem, który przygotowuje paliwo ciekłe do zapłonu, a następnie do spalania. Przy płonącej strudze kropła w swoim ruchu osiąga coraz to większą temperaturę, osłabiają się jej siły napięcia powierzchniowego, a więc rośnie możliwość rozpadu kropli na drobniejsze. Jednocześnie kropła odparowuje, przez co zmniejszającą się jej wymiary, a to powo-

duje wzrost siły napięcia powierzchniowego w stosunku do sił dynamicznych. W rzeczywistości proces odparowania oraz drobnienia wskutek ogrzewania się zachodzą na siebie i trudno jest je rozdzielić. W badaniach na zimno uważa się, że proces rozpadu kropli kończy się w takim miejscu, gdzie stosunek sił dynamicznych do sił napięcia powierzchniowego osiągnie stałą wartość ($We = idem$). Z chwilą przejścia na rozpylanie modelowej substancji pojawia się dodatkowa trudność. Z jednej strony należałoby zachować podobieństwo rozpadu wtórnego, z drugiej strony zaś temperatura powinna maleć, ponieważ krople powinny się dostatecznie ochłodzić i zestalić. Należałoby więc rozważyć celowość podgrzewania strugi na odcinku, na którym zachodzi rozpad wtórny. Jest to szczególnie ważne przy rozpylaniu strumienicowym, w którym zjawisko rozpadu wtórnego na zimno różni się znacznie w porównaniu z takim zjawiskiem zachodzącym w strudze.

W rozważaniach należy również pamiętać o spadku temperatury czynnika rozpylającego, zależnym od stopnia rozprężenia się w dyszy.

Na zakończenie autor dziękuje Panu doc. dr hab. inż. R. Peteli za cenne wskazówki przy redagowaniu niniejszej pracy.

LITERATURA

- [1] JOHNSTONE R.E., THRING M.W. - Instalacje doświadczalne. Modele i metody powiększania skali; tłum. z ang. PWT W-wa 1960.
- [2] KUŁAGIN L.W., OCHOTNIKOW S.S. - Szizganije tjażołych židkich topliw. NEDRA Moskwa 1967.
- [3] MÜLLER L. - Teoria podobieństwa mechanicznego. WNT W-wa 1961.
- [4] OKOŁO-KUŁAK W. - Właściwe zastosowanie analizy wymiarowej. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Energetyka z. 14 1957.
- [5] PETELA R., KAPLON Zb. - Pomiary rozkładów masy i średnic kropeł rozpylonej cieczy. Zeszyty Naukowe Pol. Śl. Energetyka z. 38.
- [6] WÓJCICKI St. - Spalanie, WNT W-wa 1969.

КРИТЕРИИ ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ДИАМЕТР КАПЛИ
РАСПЫЛЕННОГО ЖИДКОГО ТОПЛИВА

Р е з ю м е

При помощи размерного анализа сделано вывод критерия определяющего диаметр капли распыленного жидкого топлива при напорном, струйном и ультразвуковом распылении. Определено тоже диаметр капли в функции плотности орошения.

CRITERIONS DEFINING THE DROP DIAMETER
OF THE ATOMIZED LIQUID FUEL

S u m m a r y

By means of the dimension analysis there are derived the criterions determining the drop diameter of an atomized liquid fuel by pressure, jet and microimpulse atomization. There is also determined the drop diameter as a function of the spraying density.