ZAGADNIENIA
EKSPLOATACJI
MASZYN
Zeszyt 4 (152) 2007

ARTUR POPKO*

Zagadnienia ustalania parametrów eksploatacyjnych wysokociśnieniowych zaworów emulgujących

Słowa kluczowe

Emulsja, emulgacja ciśnieniowa, faza rozproszona, wymiar charakterystyczny.

Key-words

Emulsion, high pressure emulsification, scattered phase, characteristic dimension.

Streszczenie

Przeprowadzone przez autora kompleksowe analizy teoretyczne zachodzących zjawisk umożliwiły opracowanie nowej, fizycznej interpretacji mechanizmu emulgacji ciśnieniowej, uwzględniającego wpływ na przebieg procesu podstawowych właściwości emulsji, a szczególnie lepkości dynamicznej, napięcia międzyfazowego, gęstości faz emulsji, zawartości fazy rozproszonej i w szczególności ciśnienia i temperatury procesu. Opracowano matematyczny model procesu uwzględniający wpływ tych parametrów na wartość wymiaru charakterystycznego cząstek fazy rozproszonej dyspergowanej ciśnieniowo emulsji. Dla ustalania parametrów konstrukcyjnych oraz właściwej eksploatacji wysokociśnieniowych zaworów emulgujących konieczne jest określenie racjonalnych parametrów procesu, a w szczególności ciśnienia niezbędnego do wymaganego zdyspergowania emulsji.

1. Wprowadzenie

Emulsja [łac.] to układ dyspersyjny (rozproszony) nie mieszających się ze sobą cieczy. Te same ciecze mogą tworzyć różne emulsje zależnie od stosunku ilościowego składników (np. olej smarowy z wodą tworzy emulsję typu „olej w wodzie", typu O/W, będącą ruchliwą cieczą oraz emulsję typu „woda w oleju", typu W/O, będącą gęstym, ciągliwym smarem). Emulsje, ze względu

* Politechnika Lubelska, Wydział Zarządzania i Podstaw Techniki, ul. Nadbystrzycka 38d, 20-950 Lublin, tel.: (81) 5384530, e-mail: a.popko@pollub.pl.

na rozproszenia światła na kropelkach fazy rozproszonej, są zazwyczaj nieprzezroczystymi, białymi cieczami o konsystencji śmietany lub nawet półstałej, miękkiej masy. Typ emulsji można określić badając jej przewodnictwo elektryczne (przewodzi emulsja O/W, gdyż przewodzi ciągła faza polarna), dokonując próby rozcieńczania (emulsje można rozcieńczyć tylko cieczą mieszająca się z fazą ciągłą) lub oglądając pod mikroskopem kroplę emulsji po zabarwieniu jej barwnikiem, który rozpuszcza się tylko w jednej z faz). Do najbardziej popularnych emulsji należy mleko i śmietana oraz kremy (O/W, tłuszcz w wodzie) i maści (W/O).

Emulsje otrzymuje się zwykle w wyniku mechanicznego rozdrabniania niemieszających się cieczy; emulsje łatwo ulegają koalescencji, czyli łączeniu się kropelek cieczy rozproszonej w większe krople. trwałość emulsji zwiększa obecność tzw. emulgatorów; przykładem naturalnej emulsji jest mleko, w którym kropelki tłuszczu są rozproszone w roztworze wodnym, zawierającym białko (m.in. kazeinę odgrywającą rolę emulgatora), węglowodany, sole.

Emulsje są wytwarzane lub przetwarzane w wielu gałęziach przemysłu: w przemyśle spożywczym, farmaceutycznym, kosmetycznym, chemicznym, petrochemicznym, w przetwórstwie tworzyw sztucznych [1]. Przykładowo w przemyśle spożywczym w procesach produkcji, np. mleka homogenizowanego [2÷10], śmietanki spożywczej [3, 11], serków homogenizowanych, lodów [12], majonezów itp. zastosowanie emulgacji zwiększa przyswajalność oraz poprawia walory organoleptyczne produktów [13÷16]. W przemyśle farmaceutycznym jest ona stosowana do dyspergowania fazy rozproszonej produktów w postaci maści, emulsji tłuszczowych, szczepionek w fazie olejowej, natomiast w przemyśle kosmetycznym emulgowanie wykorzystuje się przy produkcji kremów, szamponów, lakierów, mydeł, wybielaczy itp., uzyskując znaczną poprawę procesu wchłaniania rozdrobnionych komponentów. Z kolei w przemyśle chemicznym (farby, oleje, kleje) w wyniku emulgacji uzyskuje się przyśpieszenie reakcji spowodowane wyższą jednorodnością obrabianych produktów. W przemyśle petrochemicznym emulgacja jest stosowana między innymi do uszlachetniania ciężkich paliw. Obecnie przykładowo prowadzone są prace badawcze zmierzające do wykorzystania różnego rodzaju olejów pochodzenia roślinnego w postaci odnawialnego paliwa ekologicznego, stąd też poznanie możliwości tworzenia emulsji na ich bazie jest ze wszech miar uzasadnione.

Emulgacja jest procesem rozdrabniania – dyspergowania cząstek fazy rozproszonej emulsji. W wyniku emulgacji następuje rozdrobnienie i ujednorodnienie cząsteczek fazy rozproszonej emulsji, których ilość wzrasta najczęściej około 200–500 razy, a ich sumaryczna powierzchnia zwiększa się około 6–8 razy [14, 16÷20]. Ze względu na konieczność stosowania określonych zakresów temperatur oraz wysokich ciśnień procesu emulgacji (przykładowo dla emulsji wodno-olejowych wartości temperatur w zakresie 20÷60°C oraz wartości ciśnienia do 20 MPa), odpowiadających racjonalnej pracy emulsorów ciśnieniowych [17, 19, 21], proces emulgacji jest bardzo energochłonny. Uwarunkowana

względami eksploatacyjnymi wydajność emulsorów jest bardzo duża (przykładowo w przemyśle mleczarskim aktualnie od 1 do 10 m^3/h, a w najbliższej perspektywie nawet do 20 m^3/h). Zainstalowana w takich emulsorach moc waha się od 7,5 kW przy wydajności 1 m^3/h do około 150 kW przy wydajności 20 m^3/h.

Dotychczas wciąż jeszcze brak jednoznacznej interpretacji mechanizmu emulgacji ciśnieniowej, a podstawowe parametry procesów technologicznych z zastosowaniem tego rodzaju emulgacji są w większości przypadków dobierane doświadczalnie. Stąd też opracowanie zasad współoddziaływania parametrów konstrukcyjnych emulsora, parametrów procesu emulgacji oraz fizycznych właściwości emulsji na wartość wymiaru charakterystycznego cząstki fazy rozproszonej dyspergowanej emulsji jest wysoce uzasadnione. Da to z kolei podstawę do zdefiniowania wytycznych do wspomagania obliczeń procesu ciśnieniowej dyspergacji emulsji, umożliwiających realizację doboru parametrów konstrukcyjnych zaworów emulgujących oraz optymalnych parametrów procesu ciśnieniowego dyspergowania emulsji [17, 22÷24].

Stosowana obecnie metodyka obliczeń zaworów emulgujących emulsorów ciśnieniowych oparta jest o eksperymentalnie wyznaczoną zależność wymiaru charakterystycznego cząstki fazy rozproszonej d_{cz} emulsji od ciśnienia emulgacji p, dotyczy tylko wybranego rodzaju emulsji. Wykonanie obliczeń dla nowego rodzaju emulsji lub też emulsji o innym składzie fazy rozproszonej wymaga każdorazowo przeprowadzenia kosztownych i długotrwałych badań.

Dyspergacja ciśnieniowa emulsji polega na rozdrobnieniu – zdyspergowaniu cząstek fazy rozproszonej emulsji podczas jej przepływu z dużą prędkością przez wąską szczelinę między grzybkiem i gniazdem zaworu emulgującego [10, 17, 19, 25÷27]. Obecnie w emulsorach ciśnieniowych zasadniczo stosuje się dwa rodzaje zaworów emulgujących. Zawór stożkowy stosowany do dyspergowania produktów zagęszczonych, o dużej (od 30%) zawartości fazy rozproszonej emulsji oraz zawór płaski, przeznaczony do dyspergowania emulsji o niższej zawartości fazy rozproszonej.

Punktem wyjściowym obliczeń emulsora ciśnieniowego jest określenie zależności wymiaru charakterystycznego cząstki fazy rozproszonej d_{cz} emulsji od ciśnienia emulgacji p dla każdego rodzaju dyspergowanej emulsji, obliczenia każdorazowo należy oprzeć o wyznaczoną doświadczalnie zależność. Metodyka obliczeń emulsorów ciśnieniowych oparta jest każdorazowo o eksperymentalnie wyznaczoną zależność wymiaru charakterystycznego cząstki fazy rozproszonej d_{cz} emulsji od ciśnienia emulgacji p.

2. Matematyczny model procesu emulgacji ciśnieniowej

Dotychczas znane są nieliczne próby opracowania zależności matematycznych [10, 17, 25÷33] opisujących korelacje między średnią wielkością cząstek

fazy rozproszonej i parametrami techniczno-technologicznymi procesu emulgowania ciśnieniowego.

Dostępne modele dyspergacji ciśnieniowej emulsji dotyczą w szczególności określania wielkości wymiaru charakterystycznego cząstek fazy rozproszonej emulsji. Są one oparte o wyniki badań, mają charakter eksperymentalny bądź dotyczą wybranych rodzajów emulsji, co ogranicza zakres ich zastosowania. Przedstawione przykłady modeli matematycznych ukazują, że jest ograniczona liczba parametrów, które są uwzględniane w modelowaniu procesu ciśnieniowej dyspergacji emulsji, część podstawowych parametrów uwzględnianych jest w ograniczonym zakresie, a niektóre są z góry narzucane wielkościami współczynników, co oznacza, że istniejące modele matematyczne są rozwiązaniami cząstkowymi.

Opracowany przez autora model matematyczny procesu ciśnieniowego dyspergowania emulsji [17, 25÷27, 32, 33, 35] z uwzględnieniem procentowego udziału fazy rozproszonej emulsji [35] opisuje wzór:

$$d_{cz} = \frac{\rho_{cz}\left(8\sigma + \mu\varphi\sqrt{\frac{2p}{\rho_{cz}}}\right)}{C_x \rho_s p \varphi^2} f(S_v) \tag{1}$$

gdzie:

d_{cz} – wymiar charakterystyczny cząstki fazy rozproszonej,

ρ_{cz}, ρ_s – gęstość odpowiednio fazy rozproszonej i fazy ciągłej emulsji,

σ – napięcie międzyfazowe,

μ – współczynnik lepkości dynamicznej fazy rozproszonej,

C_χ – współczynnik oporu środowiska,

p – ciśnienie,

t – temperatura,

φ – współczynnik efektywności wydatku,

S_v – procentowy udział fazy rozproszonej emulsji.

W swoich pracach [17, 25, 32, 34÷36] model procesu dyspergacji emulsji autor oparł na założeniu, że rozdrabnianie cząstek fazy rozproszonej jest wynikiem działania sił tnących i sił tarcia oraz, że podstawowymi parametrami warunkującymi wartość wymiaru charakterystycznego d_{cz} cząstki fazy rozproszonej ujednorodnionej emulsji są:

Parametry procesu:

– ciśnienie emulgacji p,

– temperatura t.

Fizyczne właściwości emulsji:

– napięcie międzyfazowe σ; $\sigma = f(t)$,

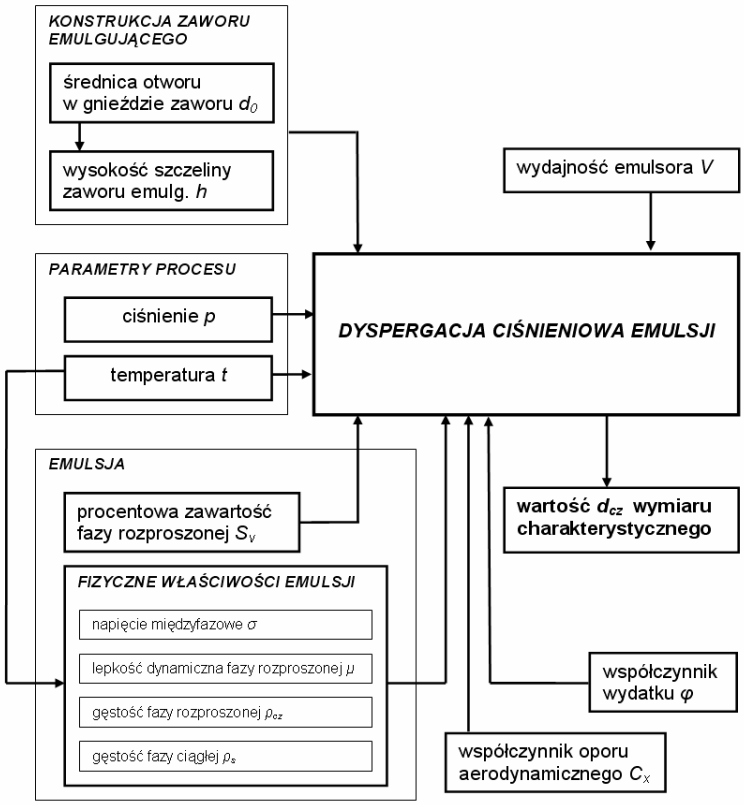
– współczynnik lepkości dynamicznej fazy rozproszonej emulsji μ; $\mu = f(t)$,

– gęstość fazy rozproszonej emulsji ρ_{cz},

– gęstość fazy ciągłej emulsji ρ_s,
– współczynnik wydatku φ; $\varphi = f(\mu, p)$,
– współczynnik oporu aerodynamicznego cząstki fazy dyspergowanej emulsji C_X; $C_X = f$ (*kształt cząsteczki, t, właściwości emulsji*),
– procentowy udział fazy rozproszonej emulsji S_v.

Parametry konstrukcyjne emulsora:
– średnica otworu w gnieździe zaworu d_0,
– robocza wysokość szczeliny zaworu emulgującego h,
– wydajność emulsora V.

Współoddziaływanie wyspecyfikowanych parametrów przedstawiono w postaci opracowanego schematu (rys. 1) procesu dyspergacji ciśnieniowej emulsji. Fizyczne właściwości emulsji: napięcie międzyfazowe, współczynnik lepkości dynamicznej fazy rozproszonej emulsji, gęstość fazy rozproszonej emulsji, gęstość fazy ciągłej emulsji są funkcjami temperatury emulgacji, a ich wartości są specyficzne dla każdego rodzaju emulsji i winne być określane indywidualnie dla każdego rodzaju analizowanej emulsji.

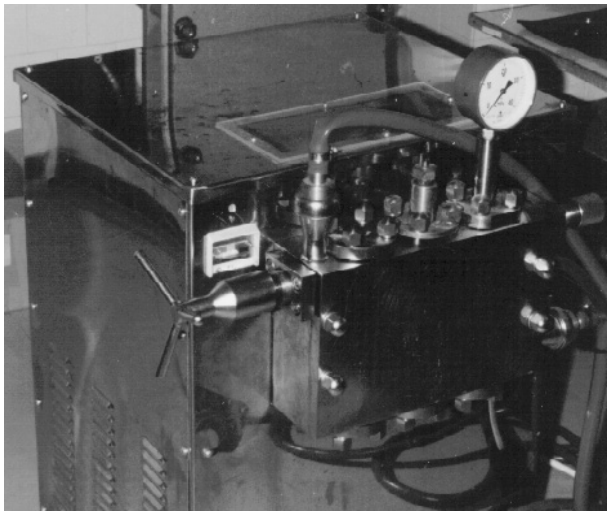


Rys. 1. Schemat procesu dyspergacji ciśnieniowej emulsji
Fig.1. Scheme of high-pressure emulsification process

Opracowany model matematyczny procesu dyspergacji ciśnieniowej emulsji oraz schemat procesu wymagają eksperymentalnej weryfikacji. Badaniom poddano emulsje O/W o ustalonych parametrach, tj.: gęstości fazy ciągłej, gęstości fazy rozproszonej, lepkości dynamicznej, napięciu międzyfazowym, o zawartościach fazy rozproszonej określonej w zakresie: 1%–18%. Badania przeprowadzono przy wartościach ciśnienia emulgacji w zakresie: 0,5–16 MPa i wartościach temperatury procesu emulgacji w zakresie: 20°–60°C.

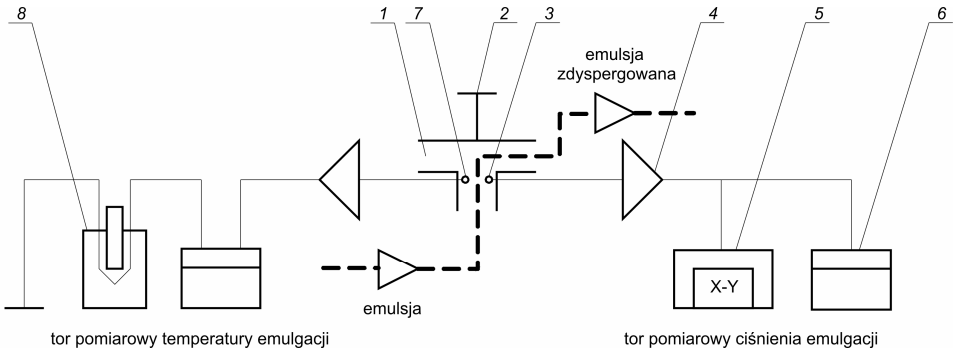
Wymiar charakterystyczny cząstek fazy rozproszonej zdyspergowanej emulsji określano metodą mikroskopową zgodnie z PN/75-A-86059 przy pomocy mikroskopu biologicznego wyposażonego w mikromierz okularowy, przy 900-krotnym powiększeniu. Dla każdej pobranej próbki dokonywano odczytów 150 cząstek fazy rozproszonej zdyspergowanej emulsji. Umożliwiło to uzyskanie maksymalnego odchylenia od rzeczywistego rozkładu w wysokości ±5%, co jest wymagane dla przeprowadzenia analiz wykonanych badań. Najmniejsza wartość wymiaru charakterystycznego cząstek fazy rozproszonej zdyspergowanych emulsji wynosiła ok. 0,22 μm, co odpowiadało zdolności rozdzielczej mikroskopu.

Badania wpływu ciśnienia, temperatury i zawartości fazy rozproszonej na wartość wymiaru charakterystycznego d_{cz} cząstek fazy rozproszonej dyspergowanej emulsji przeprowadzono na stanowisku badawczym zbudowanym w Politechnice Lubelskiej [17]. Wykorzystano emulsor ciśnieniowy CHO-03M o wydajności do 310 dm^3/h, wyprodukowany w FMiUPS w Bełżycach (rys. 2), wyposażony w jednostopniową głowicę emulgującą z płaskim zaworem emulgującym. Moc silnika zainstalowanej w emulsorze pompy 3 nurnikowej wynosi 2,2 kW. Maksymalne ciśnienie robocze emulsora wynosi 16 MPa.



Rys. 2. Widok stanowiska badawczego z zastosowaniem emulsora ciśnieniowego CHO-03M
Fig. 2. The CHO-03M set for the high-pressure emulsification process

Stanowisko badawcze wyposażone zostało w tor pomiarowy ciśnienia emulgacji w komorze wysokiego ciśnienia (rys. 3) składający się z tensometrycznego czujnika ciśnienia typ PM-250/0-25MPa, stałoprądowego mostka tensometrycznego MTS-03, woltomierza cyfrowego V-540, rejestratora X-Y. Tor pomiarowy temperatury składał się z czujnika termoelektrycznego TTFe (Fe-Co), stałoprądowego mostka tensometrycznego MTS-03, wzorca temperatury 0°C, woltomierza cyfrowego V-540, rejestratora X-Y [17, 22, 37÷39]. Na uwagę zasługuje, że przedstawione rozwiązanie procesu badawczego jest rozwiązaniem uniwersalnym, umożliwiającym analizę zachodzących zjawisk.



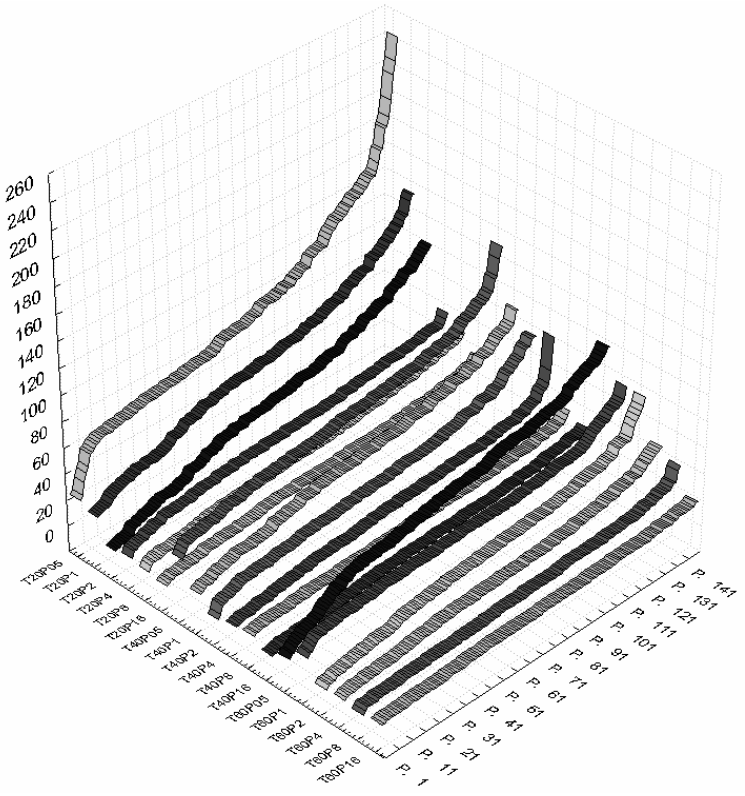
Rys. 3. Schemat stanowiska do badania wpływu parametrów emulgacji ciśnieniowej, ciśnienia, temperatury i zawartości fazy rozproszonej na wartość wymiaru charakterystycznego d_{cz} cząstek fazy rozproszonej. 1 – szczelina zaworu emulgującego emulsora, 2 – pokrętło regulacji ciśnienia emulgacji, 3 – tensometryczny czujnik ciśnienia typ PM-250/0-25MPa, 4 – stałoprądowy mostek tensometryczny typ MTS-03, 5 – rejestrator X-Y, 6 – woltomierz cyfrowy typ V-540, 7 – czujnik termoelektryczny TTFe (Fe-Co), 8 – wzorzec temperatury 0°C woda – lód.

Fig. 3. The set for the measurement of influence emulsification parameters, pressure, temperature and contents of dispersed phase on particle characteristic dimension. 1 – high-pressure emulsification chamber, 2 – pressure regulator, 3 – PM-250/0-25MPa tensiometric pressure sensor, 4 – MTS-03 tensiometric DC bridge, 5 – X-Y recorder, 6 – V-540 digital voltmeter, 7 – TTFe (Fe-Co) thermoelectric sensor, 8 – a 0°C temperaure standard

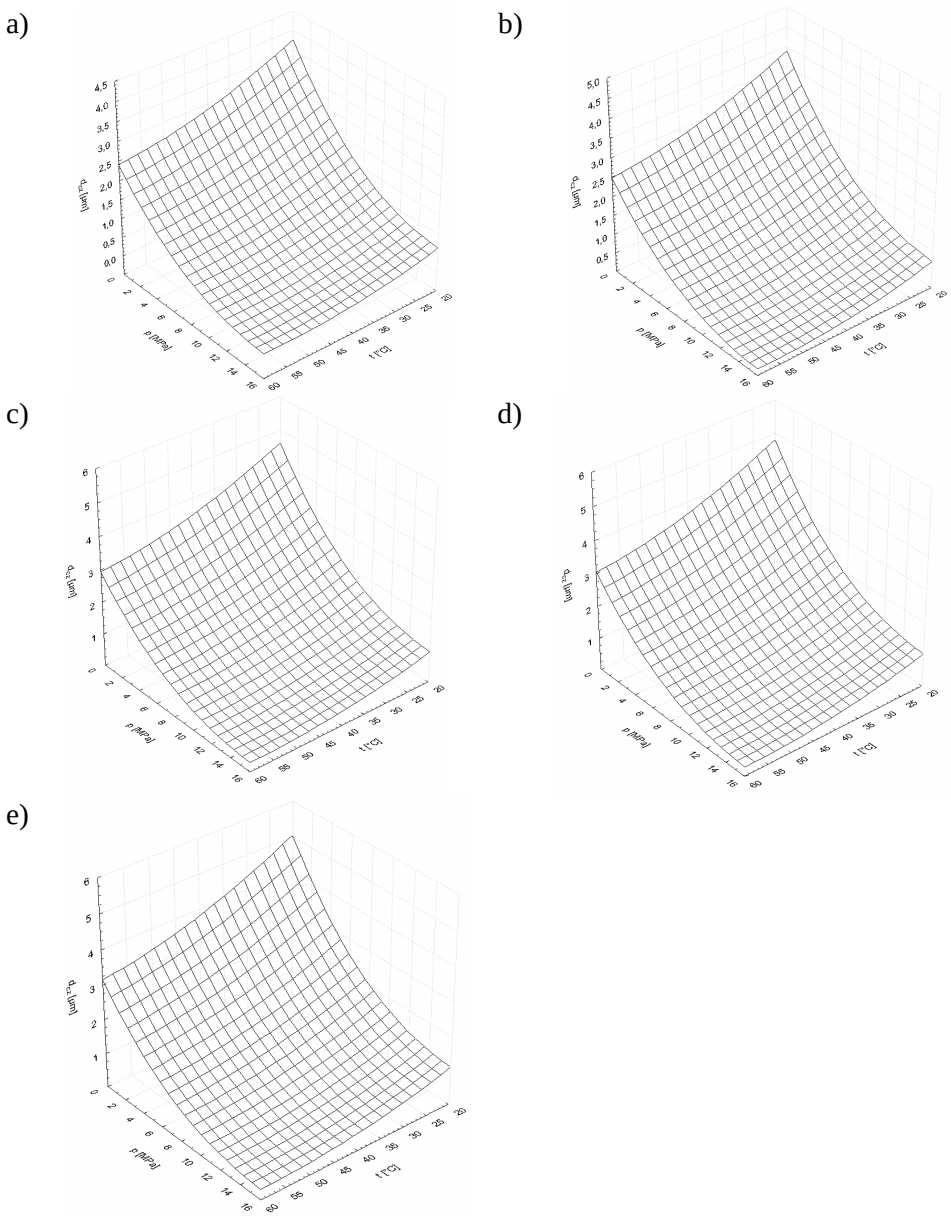
3. Wyniki badań

Przeprowadzona została analiza badań wpływu ciśnienia, temperatury i zawartości fazy rozproszonej na wartość wymiaru charakterystycznego cząstek fazy rozproszonej d_{cz} w procesie ciśnieniowego dyspergowania emulsji. Badano emulsje O/W o ustalonych parametrach, tj.: gęstości fazy ciągłej, gęstości fazy rozproszonej, lepkości dynamicznej, napięciu międzyfazowym, o zawartościach fazy rozproszonej: 1%, 1,8%, 9%, 12%, 18%. Badania przeprowadzono przy

wartościach ciśnienia emulgacji: 0.5 MPa, 1 MPa, 2 MPa, 4 MPa, 8 MPa, 16 MPa i wartościach temperatury procesu emulgacji: 20°C, 40°C, 60°C. Przykładowo rys. 4 obrazuje sekwencyjnie zmiany wartości wymiaru charakterystycznego cząstki fazy rozproszonej ujednorodnionej emulsji dla temperatur 20°C, 40°C, 60°C. Natomiast zależności wymiaru charakterystycznego cząstki fazy rozproszonej od ciśnienia emulgacji dla emulsji o zawartościach fazy rozproszonej S_v = 1%, 1,8%, 9%, 12%, 18% przy temperaturach emulgacji kolejno: t = 20°C, 40°C i 60°C przedstawiono na rys. 5.

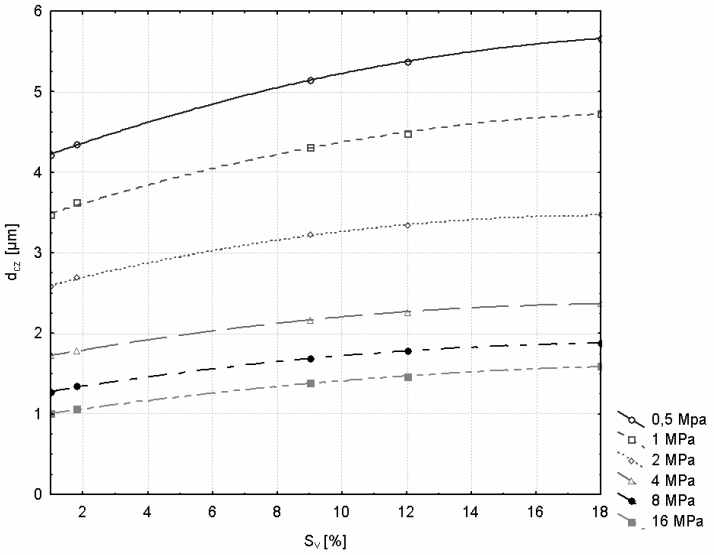


Rys. 4. Przykładowy wykres serii pomiarowych wyników badań 1% emulsji. Temperatury: 20°C, 40°C ,60°C, ciśnienia: 0,5, 1, 2, 4, 8, 16 MPa
Fig. 4. Exemplary diagram of results series of research 1% emulsion for the following temperatures: 20°C, 40°C , 60°C and pressures: 0.5 MPa, 1 MPa, 2 MPa, 4 MPa, 8 MPa, 16 MPa



Rys. 5. Zależność wymiaru charakterystycznego cząstki fazy rozproszonej od ciśnienia emulgacji dla emulsji o zawartości fazy rozproszonej S_v odpowiednio równe: a) 1%, b) 1,8%, c) 9%, d) 12%, e) 18% Temperatury emulgacji kolejno: t = 20°C, 40°C i 60°C

Fig. 5. Experimentally determined relation between particle size and pressure and contents of dispersed phase, for the following contents of dispersed phase: a) 1%, b) 1.8%, c) 9%, d) 12%, e) 18%, and temperatures: 20°C, 40°C , 60°C



Rys. 6. Zależność wymiaru charakterystycznego cząstki fazy rozproszonej od zawartości fazy rozproszonej S_v emulsji. Temperatura emulgacji t = 20°C. Ciśnienia emulgacji kolejno p = 0,5 MPa, 1 MPa, 2 MPa, 4 MPa, 8 MPa, 16 MPa
Fig. 6. Experimentally determined relation between particle size and contents of dispersed phase and pressure, for the following pressures: 0.5 MPa, 1 MPa, 2 MPa, 4 MPa, 8 MPa, 16 MPa. Temperature 20°C

Na rys. 6 przedstawiono zależności wymiaru charakterystycznego cząstki fazy rozproszonej od zawartości fazy rozproszonej S_v i ciśnienia emulgacji uzyskane przy temperaturze emulgacji: $t = 20\ ^{o}$C dla badanej emulsji. Wartość wymiaru charakterystycznego cząsteczki fazy rozproszonej d_{cz} dyspergowanej emulsji maleje wraz ze wzrostem ciśnienia emulgacji oraz wartość wymiaru charakterystycznego cząsteczki fazy rozproszonej d_{cz} dyspergowanej emulsji maleje wraz ze wzrostem temperatury procesu dyspergacji. Natomiast wartość wymiaru charakterystycznego cząsteczki fazy rozproszonej d_{cz} dyspergowanej emulsji wzrasta wraz ze wzrostem procentowej zawartości fazy rozproszonej emulsji.

Wykorzystując opracowany model matematyczny (wzór 1) oraz wyniki przeprowadzonych badań można wyznaczyć wymaganą dla osiągnięcia pożądanej wartości wymiaru charakterystycznego d_{cz} cząstek fazy rozproszonej dyspergowanej emulsji wartość ciśnienia emulgacji w postaci zależności:

$$p = \frac{4\rho_{cz}k_{S_v}\left(\frac{\mu^2}{4} + \frac{2}{k_{S_v}}\sigma d_{cz}C_x\rho_s + \frac{\mu}{2}\sqrt{\frac{\mu^2}{4} + \frac{4}{k_{S_v}}\sigma d_{cz}C_x\rho_s}\right)}{d_{cz}^2 C_x^2 \rho_s^2 \varphi^2} \tag{2}$$

gdzie:

$k_{S_v} = f(S_v)$.

Kolejno, wykorzystując opracowaną przez autora zależność [36]:

$$d_{cz} = 0{,}137 \cdot \left[\frac{V^{\frac{4}{3}}}{d_0^{\frac{1}{3}}} \right] \cdot \left[\frac{\sigma}{\phi^2 \nu^{\frac{4}{3}}} \right] \cdot \left[\frac{1}{p} \right] \tag{3}$$

wymiar średnicy otworu w gnieździe zaworu emulgującego d_0 dla pożądanej wartości wymiaru charakterystycznego d_{cz} cząstek fazy rozproszonej dyspergowanej emulsji oraz założonej wydajności emulsora V można przedstawić w postaci:

$$d_0 = 0{,}00257 \frac{V^4 \sigma^3}{d_{cz}^3 \phi^6 \nu^4 p^3} \tag{4}$$

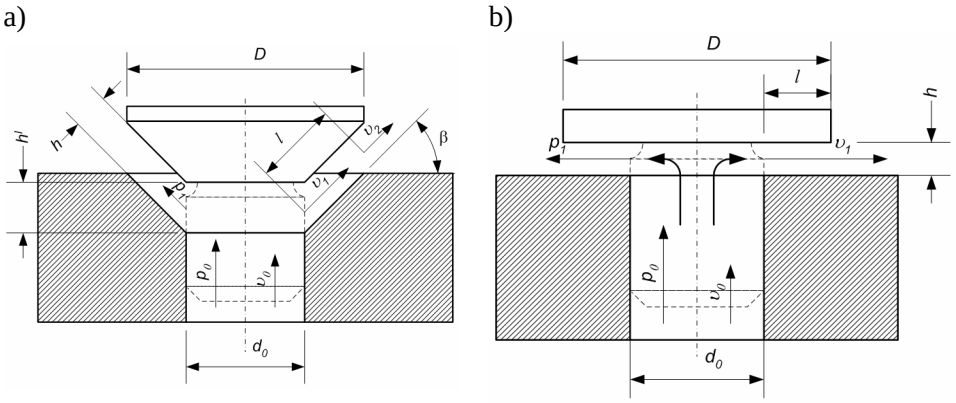
Wysokość szczeliny h' zaworu emulgującego dla zaworu stożkowego:

$$h' = \frac{V}{\pi d_0 \phi \sqrt{\frac{\Delta p}{\gamma} \cos\beta}} \tag{5}$$

Wysokość szczeliny h zaworu emulgującego dla zaworu płaskiego:

$$h = \frac{V}{\pi d_0 \phi \sqrt{2g \frac{\Delta p}{\gamma}}} \tag{6}$$

W wyniku przeprowadzonych obliczeń uzyskuje się wartości średnicy otworu d_0 w gnieździe zaworu emulgującego oraz roboczą wysokość szczeliny h zaworu emulgującego, które stanowią wytyczne dla praktycznej realizacji zaworu emulgującego.



Rys. 7. Stożkowy a) i płaski b) zawór emulgujący
Fig. 7. Conical a) and flat b) high-pressure emulsifying valve

Na podstawie znanych zależności maksymalną wartość v_1 teoretycznej prędkości przepływu cieczy przy wejściu do szczeliny zaworu emulgującego (rys. 7) można przedstawić [19] w postaci wzoru:

$$v_1 = \sqrt{2g\frac{\Delta p}{\gamma}}, \text{ m/s} \tag{7}$$

gdzie:

γ – ciężar właściwy emulsji, N/m^3.

Z równania ciągłości strumienia cieczy przepływającej w szczelinie można określić:

$$v_2 = v_1\frac{r}{r + l\cos\beta}, \text{ m/s} \tag{8}$$

gdzie:

r – promień otworu w gnieździe szczeliny, m,

l – tworząca stożka zaworu, m,

β – kąt pochylenia tworzącej stożka do prostopadłej do osi gniazda

Jeśli $\beta = 0$ (dla zaworu płaskiego) to:

$$v_2 = v_1\frac{r}{R}, \text{ m/s} \tag{9}$$

gdzie:

R – promień grzybka zaworu.

Wartości rzeczywistych prędkości przepływu cieczy są mniejsze od teoretycznych, przy czym różnica ta wzrasta wraz ze wzrostem lepkości dyspergowanej emulsji i spadkiem wysokości szczeliny. Podczas emulgacji wysokość szczeliny h pomiędzy gniazdem i grzybkiem zaworu nie jest wartością stałą, ulega ona zmianom w szerokich granicach, w zależności od wydajności emulsora, wymiarów zaworu emulgującego, ciśnienia emulgacji, lepkości, gęstości faz emulsji itp.

Wysokość wzniosu h' grzybka zaworu emulgującego można określić ze wzoru:

$$h' = \frac{V}{\pi d_0\phi\sqrt{\frac{\Delta p}{\gamma}\cos\beta}}, \text{ m} \tag{10}$$

gdzie:

V – ilość emulsji przepływającej przez zawór emulgujący (wydajność emulsora), m^3/s,

d_0 – średnica otworu w gnieździe zaworu emulgującego, m,

φ – współczynnik efektywności wydatku.

Wysokość szczeliny *h*:

$$h = h' \cos\beta = \frac{V}{\pi d_0 \phi \sqrt{2g\frac{\Delta p}{\gamma}}}, \text{ m} \tag{11}$$

W przypadku zaworów płaskich (rys. 7 b), $\beta = 0$, wówczas $h = h'$.
Średnica otworu w gnieździe zaworu emulgującego:

$$d_0 = \frac{V}{\pi h \phi \sqrt{2g\frac{\Delta p}{\gamma}}}, \text{ m} \tag{12}$$

4. Wnioski

Zastosowanie przedstawionej metodyki obliczeń umożliwia wyeliminowanie pracochłonnego i kosztownego etapu procedury obliczeń dyspergacji ciśnieniowej emulsji, który wykonywany jest odrębnie dla każdego rodzaju emulsji i jest oparty o metodę eksperymentalnego wyznaczenia zależności wymaganej wartości wymiaru charakterystycznego cząstki fazy rozproszonej d_{cz} emulsji od ciśnienia emulgacji.

Opracowano mechanizm współoddziaływania parametrów konstrukcyjnych zaworów emulgujących, podstawowych parametrów procesu, ciśnieniowej dyspergacji emulsji, fizycznych właściwości emulsji, procentowego udziału fazy rozproszonej emulsji oraz parametrów procesu emulgacji, ciśnienia i temperatury.

Sformułowano matematyczny model procesu, uwzględniający wpływ tych parametrów na wartość wymiaru charakterystycznego cząstek fazy rozproszonej dyspergowanej emulsji. Umożliwia to ustalanie racjonalnych parametrów procesu, a w szczególności ciśnienia, niezbędnego do uzyskania wymaganego zdyspergowania emulsji oraz określanie parametrów konstrukcyjnych i eksploatacyjnych wysokociśnieniowych zaworów emulgujących.

Praca wpłynęła do Redakcji 08.11.2007 r.

Literatura

[1] Shimada T., Carem W.: Foods Division Food Development Laboratory Food Research Department Asahi Denka Kogyo K.K. 2-35, Higashiogu, 7-Chome, Arakawa- ku, Tokyo 116-8553, Japan. www.ffcr.or.jp/zaidan/FFCRHOME .nsf/ pages/ffij-e180. 2006.

[2] Claesson P.M., Blomberg E., Fröberg J.C., Nylander T. and Arnebrant T.: Protein interactions at solid surfaces. *Adv. Colloid Interface Sci*. 1995. 57:161.
[3] Dalgleish D.G.: Conformations and structures of milk proteins adsorbed to oil–water interfaces. *Food Research International*, 29(5–6), (1996). 541–547.
[4] Dalgleish D.G., West S.J. & Hallett F.R.: The characterization of small emulsion droplets made from milk proteins and triglyceride oil. *Colloids and Surfaces* A: Physicochemical and Engineering Aspects, 1997. 123–124, 145–153.
[5] De Feijter J., Benjamins J. and Tamboer M.: Adsorption displacement of proteins by surfactants in oil-in-water emulsions. *Colloids Surf.* 1987. 27:243.
[6] Fang Y. and Dalgleish D.G.: Dimensions of the adsorbed layers in oil-in-water emulsions stabilized by caseins. *J. Colloid Interface Sci.* 1993. 156:29.
[7] Shimizu M.: Structure of proteins adsorbed at an emulsified oil surface. Page 34 *in* Food Macromolecules and Colloids. E. Dickinson and D. Lorient, ed. R. Soc. Chem., Cambridge, United Kingdom. 1995.
[8] Tomas A., Paquet D., Courthaudon J.-L. and Lorient D.: Effect of fat and protein contents on droplet size and protein surface coverage in dairy emulsions. *J. Dairy Sci*. 1994. 77:413.
[9] Van Dam B.M.C., Watts K.M., Campbell I.J. and Lips A.: On the stability of milk protein-stabilized concentrated oil-in-water food emulsions. Page 215 *in* Food Macromolecules and Colloids. E. Dickinson and D. Lorient, ed. R. Soc. Chem., Cambridge, United Kingdom. 1995.
[10] Popko H.: Homogenizacja i homogenizatory. Wydawnictwa Naukowe PL. Lublin 1981.
[11] Dumay E., Lambert C., Funtenberger S. & Cheftel J.C.: Effects of high pressure on the physico-chemical characteristics of dairy creams and model oil/water emulsions. *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie*, 29(7), 1996. 606–625.
[12] Goff H.D.: Formation and stabilization of structure in ice cream and related products. Current Opinion *Colloid Interface Sci.* 2002. In press.
[13] Bot A., Flöter E., Lammers J.G. and Pelan E.G.: Controlling the texture of spreads, in Texture in Foods, volume 2, editor B.M. McKenna, Woodhead Publishing, Cambridge, UK. 2003.
[14] Kiełczewska K.A., Kruk A.: Technologiczne aspekty homogenizacji mleka. *Przegląd Mleczarski* 4/1996. s. 117–121.
[15] Pelan B.M.C., Watts K.M., Campbell I.J., Lips A.: The Stability of Aerated Milk Protein Emulsions in the Presence of Small Molecule Surfactants. *J. Dairy Sci.* 80 1997, s. 2631–2638.
[16] Pijanowski E.: Zarys chemii i technologii mleczarstwa. PWRiL, Warszawa 1985.
[17] Popko A.: Badanie procesu ujednorodniania emulsji wodno-olejowej w emulgatorze ciśnieniowym. Praca doktorska. Politechnika Poznańska 1997. Praca niepublikowana, s. 1–125.
[18] Popko H. i inni: Uwagi o konstrukcji, instalacji i eksploatacji homogenizatorów. *Przegląd Mleczarski* 3/1980, s. 14–17.
[19] Popko H., Popko R.: Maszyny przemysłu spożywczego. *Przemysł Mleczarski*. Wydawnictwa Uczelniane Politechniki Lubelskiej. Lublin 1997, s. 1–365.
[20] Tcholakova S., Denkov N.D., Sidzhakova D., Ivanov I.B., Campbell B.: Interrelation between Drop Size and Protein Adsorption at Various Emulsification Conditions. *Langmuir*, vol. 19, No. 14/2003, s. 5640–5649.
[21] Popko A.: Nowa interpretacja uniwersalnej zasady funkcjonalności maszyn i aparatów. ITSI. Technologiczne Systemy Informacyjne. Lubelskie Towarzystwo Naukowe. Lublin 1999, s. 131–136.
[22] Popko A.: Nowy, uniwersalny system komputerowego wspomagania sterowania procesami. I Krajowa Konferencja. Komputerowe wspomaganie w kształceniu technicznym. Materiały Naukowe Politechniki Lubelskiej. Lublin 15–16.04.1994, s. 119–121.
[23] Karbstein H., Schubert H.: Developments in the continuous mechanical production of oil-in-water macro-emulsions. *Chem. Eng*. a. Proc. 34/1995, s. 205–211.
[24] Lenik K., Popko A.: Zastosowanie wspomagania komputerowego w analizie wyników badań emulsji wodno-olejowych. Międzynarodowa Konferencja „Zastosowanie metod matema-

tycznych w nauce i technice". AGH, TNOiK, KNOiZ, PAN Kraków, 20–21.06.1995, s. 171–177.
[25] Popko A.: Badania procesu emulgacji ciśnieniowej. *Przegląd Mechaniczny*, SIMP Warszawa 5–6/1998, s. 7–11.
[26] Popko A.: New theoretical and experimental model of the emulsification process. The International Scientific Journal. *Problems of Tribology*. 2/2003, s. 173–182.
[27] Popko A.: Nowa fizyczna interpretacja mechanizmu emulgacji ciśnieniowej. *Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego*, IMS Warszawa 1–2/1997, s. 18–22.
[28] Phipps L.W.: Mechanism of oil droplet fragmentation in high pressure homogenizer. *Nature* 233, 617. 1971.
[29] Baranowskij N.W.: Gomogienizacja mołoka w kłapannom gomogienizatorie. *Mołocznaja promyszliennost*. Moskwa 1956.
[30] Hinze J.O.: Fundamentals of the hydrodynamic mechanism of splitting in dispersion processes. *Trans. Am. Inst. Chem. Eng.* 1. 1955. s. 289–295.
[31] Calabrese R.V., Chang T.P.K., Dang P.T.: Drop breakup in turbulent stirred-tank contactors. Part I: Effect of dispersed-phase viscosity. American Institute of Chemical Engineering Journal, 32(4), 1986, 657–666.
[32] Popko A.: New interpretation of emulsifying mechanism. International Agrophysics. Institute of Agrophysics. Polish Academy of Sciences. Lublin. Poland. Lublin 2000, s. 105–111.
[33] Popko A.: Nowy opis matematyczny mechanizmu emulgacji. *Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego*, IMS Warszawa 1–2/1998, s. 49–53.
[34] Popko A.: Badania napięcia międzyfazowego emulsji. *Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego*, IMS Warszawa 1–2/1999, s. 30–31.
[35] Popko A.: Badania wpływu zawartości fazy rozproszonej na efektywność ciśnieniowego dyspergowania emulsji. The International Scientific Journal. *Problems of Tribology*. 3–4/2005. s. 133–138.
[36] Popko A.: Nowa matematyczna analiza wpływu parametrów konstrukcyjnych emulgatorów, właściwości emulsji oraz parametrów procesu na skuteczność emulgacji. *Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego*, IMS Warszawa 1–2/1999, s. 32–34.
[37] Popko A.: Komputerowy system monitorowania i sterowania dystrybucją energii cieplnej w LPEC sp. z o.o. ITSI. Technologiczne Systemy Informacyjne. Lubelskie Towarzystwo Naukowe. Lublin 1999, s. 59–64.
[38] Popko A.: Zastosowanie wspomagania komputerowego w procesie konstruowania układów elektronicznych. I Krajowa Konferencja. Komputerowe wspomaganie w kształceniu technicznym. Materiały Naukowe Politechniki Lubelskiej. Lublin 15–16.04.1994, s. 114–118.
[39] Popko A., Lenik K.: Badania stopnia ujednorodnienia emulsji wodno-olejowych. XX Jesienna Szkoła Tribologiczna „Tribologia a Inżynieria Powierzchni" . PAN, WSI w Radomiu, 1995, s. 561–566.

Problems of determine exploitation parameters of high pressure emulsifier valves

S u m m a r y

A set of complex theoretical analyses of effects, carried out by the author enabled to create a new physical interpretation of the high pressure emulsifying mechanism taking into account the role of basic emulsion parameters, especially absolute viscosity, interfacial tension, density of emulsion phases, contents of dispersed phase and especially pressure and temperature. A mathematical description of the process was compiled with a determination of the role of those parameters influencing the characteristic dimension of scattered phase particles. As a result of testing the emulsion of rape oil and water a verified theoretical-experimental model of emulsifying process

was elaborated and described by an equation. This mathematical model makes it possible to determine the pressure necessary to homogenize the emulsion and, thus to determine the proper construction and working parameters of an high pressure emulsifier valve.