

TADEUSZ LASKOWSKI, IONEL CRAESCU

WŁASNOŚCI REOLOGICZNE ZAWIESINOWYCH CIECZY CIĘŻKICH W PROCESIE WZBOGACANIA WĘGLA

Rozdział surowca na frakcje o różnym ciężarze właściwym można przeprowadzić w jednorodnych cieczach ciężkich lub w cieczach zawiesinowych. Ciężkie ciecze jednorodne mimo dokładniejszego w nich wzbogacania nie znalazły zastosowania przemysłowego ze względu na wysoką cenę, na korozję stali i żelaza oraz na szkodliwe działanie dla życia organicznego. Pełne zastosowanie przemysłowe znalazły jedynie ciężkie ciecze zawiesinowe.

Wzbogacanie w zawiesinowych cieczach ciężkich jest najefektywniejszą metodą wzbogacania węgla. Płuczki tego typu charakteryzują się wysoką dokładnością rozdziału, a przez to niskimi stratami węgla w odpadach, szerokim zakresem wymiarów wzbogaczanych ziarn, ponadto cechuje je wysoka wydajność i niskie nakłady inwestycyjne. Mimo to, technologia procesu wzbogacania w cieczach ciężkich jest skomplikowana. Z procesem tym wiążą się także problemy jak zaopatrzenie w tanie i odpowiednie obciążniki, ograniczenie do minimum strat obciążnika, utrzymanie żadanego ciężaru właściwego cieczy ciężkiej, nie przekraczanie dopuszczalnej lepkości cieczy itp.

Zawiesinowe ciecze ciężkie jako ośrodek wzbogacania kopalin użytecznych rozdzielają ziarna surowca - podobnie jak ciecze jednorodne - na zasadzie różnicy ich ciężarów właściwych przy zachowaniu dwóch zasadniczych parametrów cieczy zawiesinowych, tj. stałego ciężaru właściwego, a przy tym niskiej lepkości. Te dwie cechy cieczy zawiesinowych przy określonym obciążniku wpływają od-

wrotnie na sprawność wzbogacania. Rozdział surowca w cieczy jest bardzo ścisły i praktycznie odbywa się z minimalnymi stratami substancji użytecznej w odpadach.

Wskutek lepkości cieczy drobne ziarna wzbogacanego surowca o ciężarze właściwym wyższym od ciężaru właściwego cieczy opadają bardzo wolno, a najdrobniejsze ziarna w ogóle nie opadają i utrzymują się w zawieszynie podnosząc lepkość cieczy. Czyli lepkość jest ujemną cechą cieczy ciężkich.

Ponadto drobne ziarna surowca utrzymując się w zawieszynie cieczy podlegają działaniu wirów, spowodowanych wymianą i uzupełnianiem cieczy oraz wirom powstałym na skutek opadania dużych okruszków frakcji ciężkiej. Wówczas drobne ziarna frakcji ciężkiej porywane tymi wirami przechodzą do frakcji lekkiej i zanieczyszczają ją, natomiast ziarna frakcji lekkiej pod wpływem tych samych wirów częstokroć przechodzą do frakcji ciężkiej powodując straty substancji użytecznej w odpadach.

Praktycznie lepkość cieczy we wszystkich metodach wzbogacania w cieczach ciężkich wyraża się spadkiem prędkości opadania frakcji ciężkiej, przy czym temu procesowi podlegają przede wszystkim ziarna drobne. Lepkość cieczy ogranicza zatem wielkość wzbogaczanych ziarn surowca. Im większa jest lepkość cieczy, tym wyższą musi być dolna granica wymiaru ziarn wzbogacanego w niej surowca.

Z tych powodów lepkość cieczy ciężkich nie może przekraczać określonej wielkości, gdyż drobne ziarna, których ciężar właściwy jest nieznacznie wyższy od ciężaru właściwego cieczy zawieszinowej opadają z opóźnieniem, powodując wzrost udziału ziarn fałszywych w koncentracie. Można by tego uniknąć przedłużając odpowiednio czas przebywania surowca w separatorze, co jednak powoduje obniżenie wydajności procesu.

Wydajność separatora i dokładność rozdziału najdrobniejszych ziarn nadawy, przy optymalnej lepkości cieczy zawieszinowej wzajemnie się ograniczają.

1. Własności reologiczne ciężkich cieczy zawieszinowych

Do niedawna wszystkie ciężkie cieczy zawieszinowe traktowane były jako doskonale lepkie i zaliczane do grupy cieczy zwykłych nazywanych w hydromechanice normalnymi lub newtonowskimi.

Szereg prac, między innymi [1, 2, 4] traktuje stosowane w przeróbce mechanicznej cieczy ciężkie jako systemy plastyczne, interpretując proces wzbogacania w nich w oparciu o mechanikę przepływu tych cieczy.

Przy wysokim zagęszczeniu ciała stałego w wodzie ziarna pozostają ze sobą w stałym bezpośrednim kontakcie. Wobec tego układ przestaje być zawiesziną, gdyż brak mu jest rozproszenia i wówczas stanowi on tak zwany układ plastyczny, posiadający pewną strukturę. Cechą takich układów jest ich plastyczność, wyrażająca się powstawaniem nowej struktury [3].

Cieczy plastyczne charakteryzują się oporami hydrodynamicznymi i mechanicznymi, spowodowanymi uderzeniami i tarcieniem ziarn obciążnika w wodzie, oraz działaniem między cząsteczkami, które w zależności od stężenia, stamu fizykochemicznego i powierzchni właściwej ziarn wpływają na ich łączenie się i tworzenie nowych struktur [1].

Układy plastyczne stają się cieczami dopiero przy naprężeniach stycznych o wielkości charakterystycznej dla danego układu. W przeciwieństwie do cieczy newtonowskich, aby nastąpił przepływ nawet najwolniejszy, naprężenie styczne τ działające w danym miejscu musi być wyższe od pewnej wartości τ_0 . Pod wpływem naprężeń mniejszych od τ_0 ciecz taka odkształca się podobnie jak ciało stałe, lecz przepływ nie następuje [3, 4]. Natomiast dla cieczy newtonowskich dowolnie małe naprężenie styczne wywołuje przepływ, co określa znane równanie Newtona

$$\tau = \eta \cdot \frac{du}{dy} \quad (1)$$

gdzie:

τ - naprężenie styczne,

$\frac{du}{dy}$ - gradient prędkości lub szybkość ścinania,

η - współczynnik proporcjonalności zwany lepkością newtonowską [3] lub lepkością bezstrukturalną [1].

Przepływ cieczy plastycznych - zwanych również cieczami binghamowskimi [3, 2, 4] lub cieczami strukturalnymi [1] - można wyrazić przy pomocy równania Bingham:

$$\tau - \tau_0 = \eta' \frac{du}{dy} \quad (2)$$

gdzie:

τ_0 - granica płynięcia [2, 3, 4] lub opór dynamiczny płynięcia cieczy [1].

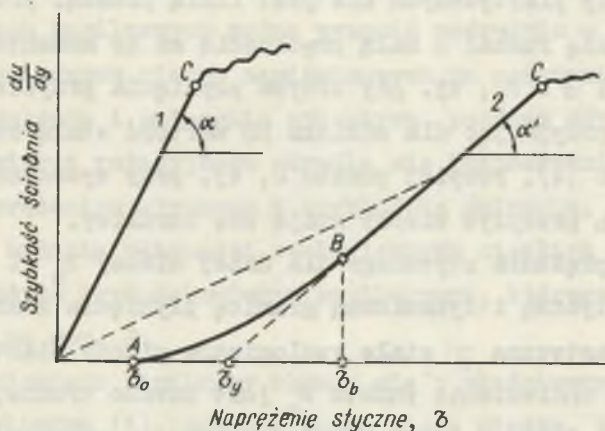
η' - lepkość plastyczna [3] lub lepkość strukturalna [1],

Wielu autorów [1, 2, 4] stwierdziło, że zawieszinowe ciecze ciężkie o niskich zagęszczeniach ciała stałego posiadają lepkość dającą się wyrazić równaniem Newtona (1), podczas gdy dla cieczy o wyższych zagęszczeniach obowiązuje równanie Bingham (2).

Wilkinson [3] wyjaśnia własności cieczy plastycznych hipotezą, że w stanie spoczynku posiadają one strukturę trójwymiarową, której sprężystość jest dostatecznie duża, by przeciwdziałać każdemu naprężeniu stycznemu, mniejszemu od granicy płynięcia τ_0 . W przypadku przekroczenia granicy płynięcia, struktura ulega zniszczeniu i układ przybiera cechy cieczy newtonowskiej, na którą działa naprężenie $\tau - \tau_0$. Gdy naprężenie styczne będzie niższe od granicy płynięcia, struktura zostaje ponownie odbudowana. W obszarze ruchu laminarnego nie dochodzi jednak nigdy do całkowitego zniszczenia struktury.

Zależność między naprężeniem stycznym a szybkością ścinania, która charakteryzuje każdą ciecz nosi nazwę krzywej płynięcia cie-

czy. Krzywe płynięcia równocześnie ilustrują wyraźne własności reologiczne cieczy zawiesinowych.



Rys. 1. Krzywe płynięcia cieczy newtonowskiej (1) i plastycznej (2)

Na rys. 1 podano krzywe płynięcia cieczy newtonowskiej i plastycznej [3, 4]. Jak wynika z rysunku wartość lepkości newtonowskiej można obliczyć równaniem:

$$\eta = \operatorname{ctg} \alpha = \frac{\tau}{du/dy} \quad (3)$$

a plastycznej równaniem:

$$\eta' = \operatorname{ctg} \alpha' = \frac{\tau - \tau_0}{du/dy} \quad (4)$$

Jeżeli połączymy jakikolwiek punkt krzywej cieczy plastycznej z początkiem układu, wtedy jej nachylenie będzie równe stosunkowi napężenia stycznego do szybkości ścinania w danym punkcie. Stosunek ten nosi nazwę lepkości pozornej [3]. Jasne jest, że to nachylenie będzie zależne od położenia punktu obranego na linii prostej. Za-

tem lepkość pozorna (η) w określonych warunkach ciśnienia i temperatury nie jest wartością stałą lub lepkość newtonowska (η), lecz zmienia się ona w zależności od szybkości ścinania.

Jak widać z rysunku, przy małych naprężeniach stycznych krzywa płynięcia cieczy plastycznych nie jest linią prostą. Przy $\delta = \delta_0$ układ zaczyna się ruszać z małą prędkością aż do momentu odpowiadającego wartości $\delta = \delta_b$, tj. gdy krzywa płynięcia przybiera postać linii prostej przyjmując dla odcinka BC wartość stałą równą wartości wg równania (4). Powyżej punktu C, tj. przy wyższych naprężeniach stycznych przepływ cieczy staje się burzliwy.

Wartości naprężenia stycznego dla danej cieczy δ_0 i δ_b charakteryzując styczną i dynamiczną granicę płynięcia stanowią wraz z lepkością plastyczną η' stałe reologiczne cieczy plastycznych.

Praktycznie znalezienie punktu δ_0 jest bardzo trudne, a czasami niemożliwe i wymaga stosowania dodatkowej aparatury. Wilkinson [3] podał empiryczną wartość statycznej granicy płynięcia δ_0 w zależności od punktu δ_y , którego wartość można ustalić przedłużając krzywe BC aż do osi δ :

$$\delta_0 = \frac{3}{4} \cdot \delta_y \quad (5)$$

Badeew [1] badając własności reologiczne cieczy zawiesinowych przy pomocy lepkościomierza kapilarnego wyznaczył tę granicę następująco:

$$\delta_0 = \frac{3 \cdot R \cdot \Delta P}{8 \cdot L} \quad (6)$$

gdzie:

R - promień kapilary, przy której wypływa ciecz,

L - długość kapilary,

ΔP - różnica ciśnienia działającego nad cieczą.

2. Określenie własności reologicznych cieczy zawieszinowych

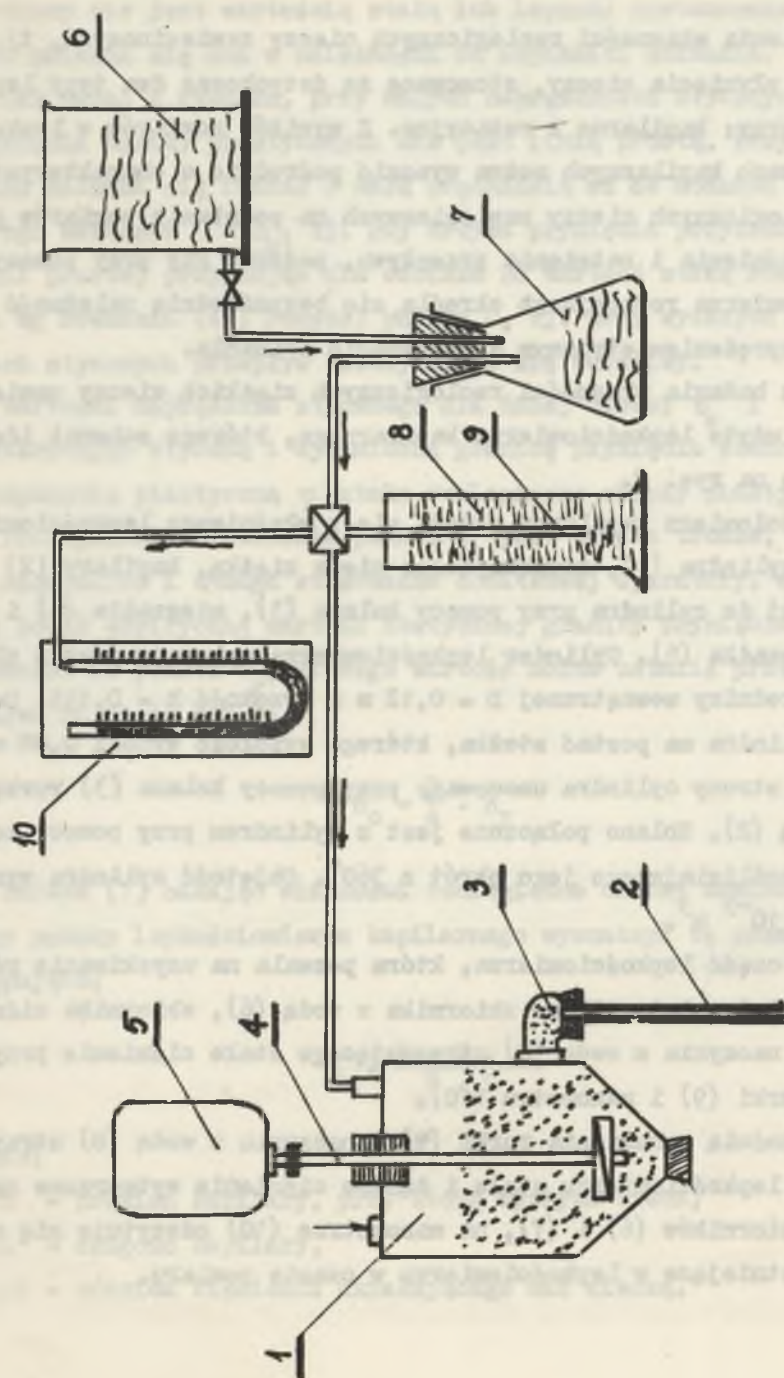
Do określenia własności reologicznych cieczy zawieszinowych, tj. krzywych płynięcia cieczy, stosowane są dotychczas dwa typy lepkościomierzy: kapilarne i rotacyjne. Z wyników pomiarów w lepkościomierzach kapilarnych można wynosić pośrednio o charakterystykach reologicznych cieczy zawieszinowych na podstawie pomiarów gradientu ciśnienia i natężenia przepływu, podczas gdy przy pomocy lepkościomierza rotacyjnego określa się bezpośrednią zależność pomiędzy naprężeniem stycznym a szybkością ścinania.

W celu badania własności reologicznych ciężkich cieczy zawieszinowych użyto lepkościomierza kapilarnego, którego schemat ideowy podano na rys. 2.

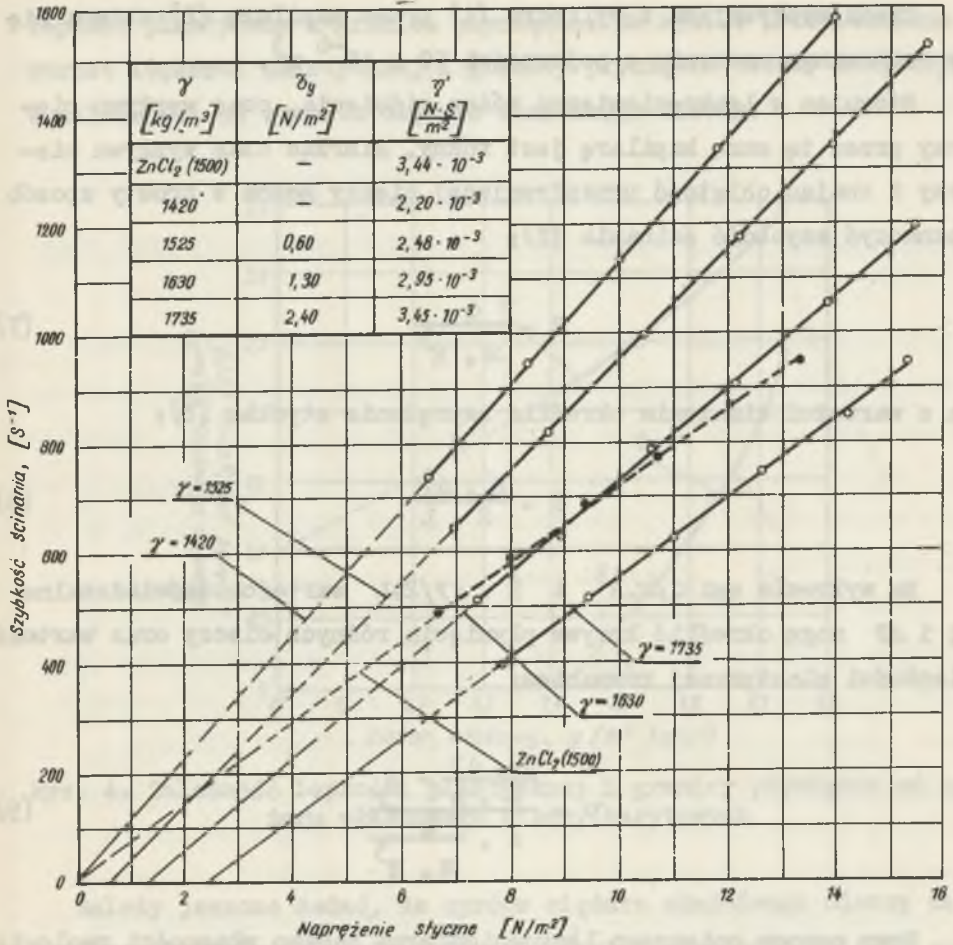
Lepkościomierz kapilarny składa się z właściwego lepkościomierza tj. cylindra (1), zawierającego ciecz ciężką, kapilary (2) umocowanej do cylindra przy pomocy kolana (3), mieszadła (4) i silnika mieszadła (5). Cylinder lepkościomierza wykonany jest z pleksyku o średnicy wewnętrznej $D = 0,12$ m i wysokość $h = 0,155$. Dolna część cylindra ma postać stożka, którego wysokość wynosi $0,08$ m. Z prawej strony cylindra umocowano przy pomocy kolana (3) rurkę kapilarną (2). Kolano połączone jest z cylindrem przy pomocy kołzyska, umożliwiającego jego obrót o 360° . Objętość cylindra wynosi $1,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$.

Druga część lepkościomierza, która pozwala na uzyskiwanie różnych ciśnień składa się ze zbiornika z wodą (6), zbiornika ciśnienia (7), naczynia z wodą (8) utrzymującego stałe ciśnienie przy pomocy rurki (9) i manometru (10).

Głębokością zanurzenia rurki (9) w naczyniu z wodą (8) utrzymuje się w lepkościomierzu stałe i żądane ciśnienie wytworzone za pomocą zbiorników (6) i (7), na manometrze (10) odczytuje się ciśnienie istniejące w lepkościomierzu w czasie pomiaru.



Rys. 2. Lepkościomierz kapilarny



Rys. 3. Krzywe płynięcia cieczy barytowych

Ciecz wypływająca z cylindra (1) przez kapilarę (2) zbiera się w cechowanym naczyniu o pojemności $50 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$.

Stosując w lepkościomierzu różne ciśnienia, czas wypływu cieczy przez tę samą kapilarę jest różny. Mierząc czas wypływu cieczy i znając objętość przepływającej cieczy można w prosty sposób oznaczyć szybkość ścinania (Z):

$$Z = \frac{Q}{\pi \cdot R^3} \quad (7)$$

a z wartości ciśnienia określić naprężenie styczne (δ):

$$\delta = \frac{R \cdot \Delta P}{2 \cdot L} \quad (8)$$

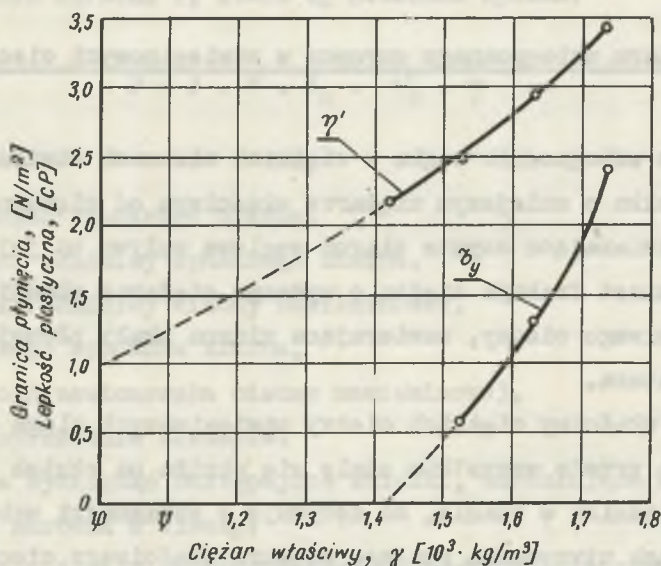
Na wykresie osi $Q/\pi \cdot R^3$ i $R \cdot \Delta P/2 \cdot L$ wartości doświadczalne Q i ΔP mogą określić krzywe płynięcia różnych cieczy oraz wartość lepkości plastycznej równaniem:

$$\eta' = \frac{\frac{R \cdot \Delta P}{2 \cdot L} - \delta_y}{4 \cdot \frac{Q}{\pi \cdot R^3}} \quad (9)$$

Przy pomocy opisanego lepkościomierza badano własności reologiczne ciężkich cieczy barytowych o różnych ciężarach właściwych oraz chlorku cynku o ciężarze właściwym 1500 kg/m^3 , których krzywe płynięcia przedstawiono na rys. 3.

Jak widać, dla chlorku cynku (1500 kg/m^3) oraz dla cieczy barytowej o ciężarze właściwym 1420 kg/m^3 krzywe płynięcia przechodzą przez początek osi współrzędnych, a więc ciecze te wykazują cechy cieczy newtonowskich. W miarę wzrostu ciężaru właściwego powyżej wartości $\gamma = 1420 \text{ kg/m}^3$ ciecze barytowe przybierają cechy cieczy plastycznych, co widać przez występowanie granicy płynięcia. Im większy jest ciężar właściwy cieczy zawieszinowych, tym większa jest

lepkość plastyczna i granica płynięcia. Na rys. 4 przedstawiono wzrost lepkości plastycznej i granicy płynięcia cieczy barytowych w zależności od wzrostu ciężaru właściwego cieczy.



Rys. 4. Zależność lepkości plastycznej i granicy płynięcia od ciężaru właściwego cieczy barytowych

Należy jeszcze dodać, że oprócz ciężaru właściwego cieczy zawiesinowej lepkość plastyczna oraz granica płynięcia zależne są od innych różnych czynników jak np. uziarnienia, kształtu ziarn obciążnika, własności powierzchniowych ziarn, obecności substancji ilastych itp., które podnoszą w dużej mierze tak lepkość jak i granicę płynięcia cieczy.

Podstawowym zagadnieniem dla wyboru metody analizy działania cieczy zawiesinowych na wzbogacone ziarna surowca jest zakwalifikowanie cieczy do odpowiedniej grupy z punktu widzenia ich własności reologicznych. Związek między czynnikami reologicznymi cieczy a wieloma procesami przemysłowymi jest widoczny. Zdumiewający jest jednak brak wiedzy odnośnie własności przepływu cieczy w pro-

cesie wzbogacania, w którym stosuje się szybko opadające w wodzie ciała stałe. Wynika to z trudności określenia lepkości nietrwałych cieczy zawieszinowych.

3. Ruch ziarn wzbogacanego surowca w zawieszinowych cieczach ciężkich

W procesie wzbogacania węgla w ciężkich cieczach zawieszinowych frakcja lekka o mniejszym ciężarze właściwym od ciężaru właściwego cieczy, zawierająca czyste ziarna węglowe wpływa na jej powierzchnię, natomiast frakcja ciężka o wyższym ciężarze właściwym od ciężaru właściwego cieczy, zawierająca ziarna skały płonej opada na dno separatora.

Ciężar właściwy ciężkich cieczy zawieszinowych ulega ciągłym zmianom, a przede wszystkim stale się obniża na skutek opadania ziarn obciążnika w czasie, co decyduje o sprawności wzbogacania, która wymaga utrzymania stałego ciężaru właściwego cieczy.

Opadanie ziarn wzbogacanego surowca w takich cieczach napotyka na opory hydrodynamiczne i mechaniczne, powstające na skutek uderzeń pomiędzy opadającymi ziarnami frakcji ciężkiej, a ziarnami obciążnika na opory tarcia oraz opory na skutek osadzania się obciążnika na powierzchni ziarn produktów wzbogacania [1].

W przypadku ciężkich cieczy newtonowskich (rys. 1 krzywa 1 lub rys. 3 krzywa $\gamma = 1420 \text{ kg/m}^3$), zakładając, że ciężar właściwy cieczy jest niezmienny w czasie opadania ciała stałego surowca, na to ciało stale działają następujące siły:

- siła ciężkości, G

$$G = \frac{\pi \cdot d_c^3}{6} \cdot \delta_c \cdot g \quad (10)$$

- siła wyporności, G_0

$$G_0 = \frac{\pi \cdot d_c^3}{6} \cdot \gamma \cdot g \quad (11)$$

- siła oporu ośrodka F , która wg Stockesa wynosi:

$$F = 3 \cdot \pi \cdot d_c \cdot v_c \cdot \eta \quad (12)$$

gdzie:

d_c - średnica opadającego ziarna,

δ_c - ciężar właściwy opadającego ziarna,

γ - ciężar właściwy cieczy zawieszinowej,

v_c - prędkość opadania ziarna,

η - lepkość newtonowska cieczy zawieszinowej,

g - przyspieszenie ziemskie.

Stąd można wyciągnąć następujące wnioski, warunkujące wpływanie lub tonięcie surowca w cieczy:

- Jeżeli $G < G_0 + F$, ziarno wpływa na powierzchnię cieczy,

- Jeżeli $G > G_0 + F$, ziarno opada w cieczy ze stałą prędkością

$$v_c = \frac{d_c^2}{18 \cdot \eta} \cdot (\delta_c - \gamma) \cdot g \quad (13)$$

co przedstawia znany wzór Stockesa.

- Jeżeli $G = G_0 + F$, tzn. że $\delta_c = \gamma$ wówczas $v_c = 0$, ziarno utrzymuje się w cieczy i nie opada.

W przypadku cieczy plastycznych (rys. 1 krzywa 2) lepkość pozorną jest funkcją szybkości ścinania, $\eta_p = f(Z)$ zatem siła oporu ośrodka F wynosi:

$$F = 3 \cdot \pi \cdot d_c \cdot v_c \cdot f(Z) \quad (14)$$

która nie jest wartością stałą.

W miarę wzrostu formy strukturalnej cieczy zawiesinowych, główną rolę w powstaniu oporów cieczy wobec opadania ciała stałego mają opory dynamiczne płynięcia cieczy. W takich cieczach opadanie ciała stałego odbywa się jedynie po dokonaniu granicy płynięcia [1,2].

Można więc łatwo wyobrazić sobie proces opadania ciała stałego w takich cieczach. Pokonując opory dynamiczne płynięcia cieczy, ciało stałe opadać będzie ze stałą prędkością, równą szybkości opadania wg Stockesa, gdzie zamiast lepkości newtonowskiej cieczy występuje lepkość plastyczna, której wartość jest stałą:

$$v_c = \frac{d_c^2}{18 \cdot \eta'} \cdot (\delta_c - \gamma) \cdot g \quad (15)$$

Warunek opadania ciała stałego z taką prędkością można obliczyć następująco:

- naprężenie styczne ziarna o kształcie kulistym znajdującego się w cieczy wynosi [2]

$$\tau_c = \frac{d}{6} \cdot (\delta_c - \gamma) \cdot g \quad (16)$$

Rozpatrując krzywą płynięcia cieczy plastycznej (rys. 1) można wyciągnąć następujące wnioski:

- dla $\tau_c \leq \tau_0$ ziarno będzie wypływać na powierzchnię cieczy niezależnie od ciężaru właściwego i lepkości cieczy,
- dla $\tau_b > \tau_c > \tau_0$, ziarno zaczyna opadać w cieczy, na początku z małą prędkością (wartość η_p jest bardzo duża przy małych wartościach Z) a potem coraz szybciej (wartość η_p spada ze wzrostem szybkości ścinania) aż do momentu
- $\tau_c = \tau_0$ kiedy opadanie odbywa się ze stałą prędkością wg równania (15).

A więc warunek opadania ziarna ze stałą prędkością wynika ze wzoru:

$$\delta_b = \frac{d}{6} \cdot (\delta_c - \gamma) \cdot g \quad (17)$$

Zatem opadanie ziarna w cieczy plastycznej zależy jest od średnicy (wymiarów) oraz od różnicy jego ciężaru właściwego i ciężaru właściwego cieczy.

Dla danego ciężaru właściwego ciała stałego i danej cieczy zawiesinowej wynika minimalna średnica ziarn surowca, wzbogacanego w ciężkich cieczach zawiesinowych:

$$d_{c \min} = \frac{6 \cdot \delta_b}{(\delta_c - \gamma) \cdot g} \quad (18)$$

Ponieważ znalezienie punktu δ_b na krzywej płynięcia cieczy praktycznie jest niemożliwe, w przybliżeniu można wprowadzić do powyższego równania zamiast δ_b , wartość δ_y i w tym przypadku równanie (18) przedstawia się następująco:

$$d_{c \min} > \frac{6 \cdot \delta_y}{(\delta_c - \gamma) \cdot g} \quad (19)$$

Na tablicy I obliczono dolną granicę wzbogacanego surowca o ciężarze właściwym 1800 kg/m^3 w przypadku opadania w cieczach barytowych, których krzywe płynięcia przedstawiono na rys. 3.

Tablica I

Dolna granica średnicy ziarn wzbogacanego surowca

γ [kg/m ³]	δ_c [kg/m ³]	$\delta_c - \gamma$ [kg/m ³]	δ_y [N/m ²]	$d_{c \min}$ [10 ⁻³ · m]
1420	1800	380	-	-
1525	1800	275	0,6	1,34
1630	1800	170	1,3	4,70
1735	1800	65	2,4	22,50

Widać stąd, że im mniejsza jest różnica ciężaru właściwego surowca i cieczy zawiesinowej oraz im większa jest granica płynięcia cieczy, tym większa musi być dolna granica wzbogacanego surowca.

4. Wnioski

1. Ciężkie ciecze zawiesinowe stosowane w przeróbce mechanicznej są to układy niestrukturalne (ciecze newtonowskie) lub strukturalne (ciecze plastyczne).
2. Ciężkie ciecze newtonowskie można scharakteryzować starą wartością tj. lepkością newtonowską. Stałymi cechami cieczy plastycznych są lepkość plastyczna i granica płynięcia.
3. Określenie stałych cieczy newtonowskich oraz cieczy plastycznych można wykonać przy pomocy lepkościomierza kapilarnego.
4. Opadanie ziarn wzbogacanego surowca w ciężkich cieczach newtonowskich zależy od ich ciężaru właściwego i lepkości. Opadanie tych ziarn w cieczach plastycznych uwarunkowane jest oprócz ciężaru właściwego i lepkości oporami dynamicznymi płynięcia cieczy.
5. Dolna granica opadających ziarn surowca w cieczach plastycznych zależy od ciężaru właściwego cieczy i tych ziarn oraz od wartości granicy płynięcia cieczy.

ρ_s [g/cm ³]	ρ_f [g/cm ³]	τ_0 [dyn/cm ²]	η [dyn/cm ²]	τ [dyn/cm ²]
1,2	1,0	0,1	0,001	0,001
1,5	1,0	0,2	0,001	0,001
1,8	1,0	0,3	0,001	0,001
2,1	1,0	0,4	0,001	0,001
2,4	1,0	0,5	0,001	0,001

LITERATURA

- [1] BADEEW S.I. - "Niektorije woprosy teorii i technologii obogaszczenia rud" Leningrad 1962.
- [2] BERGHÖFER W. - "Konsistenz und Schwertrübeaufbereitung" Bergwiss, 6/1959.
- [3] WILKINSON W.L. - "Ciecze nienewtonowskie" WNT Warszawa, 1963.
- [4] NECHOROSZYJ H. - "Niemognitnye utiażeliteli dlja obogaszczenia uгля" Nedra 1968 - Moskwa.