Nr 21

Energetyka z. 4

1960

MACIEJ ZARZYCKI

Katedra Pomp i Silników Wodnych

SFADEK CIŚNIENIA PRZY USTALONYM PRZEPŁYWIE MIESZANINY WODY I WEGLA W POZIOMYCH PRZEWODACH RUROWYCH

W pracy podano wyniki badań spadku ciśnienia przy ustalonym przepływie mieszaniny węgla i wody w poziomych przewodach rurowych. Wyprowadzono równania opisujące ustalony przepływ sollikwidusu. Na podstawie tych równań ustalono wzór określający spadek ciśnienia wody przy transporcie węgla w poziomych przewodach. Wielkością niewiadomą w tym wzorze jest stosunek "a" prędkości wody i węgla. Na podstawie wyników przeprowadzonych badań opracowano wykres i wzory empiryczne pozwalające określić stosunek "a" Opisano metodę obliczenia spadku ciśnienia. Podano przykład obliczeniowy.

1. Wstęp

Przy znanym natężeniu przepływu w poziomych przewodach rurowych oraz przy znanym ciężarze właściwym lub gęstości mieszaniny wody i węgla, obliczenie potrzebnej mocy silników napędzających pompy do hydraulicznego transportu węgla, sprowadza się do określenia strat ciśnienia w przewodach rurowych.

Trudność wyznaczenia strat ciśnienia polega głównie na tym, że dotychczas nie opracowano ogólnie przyjętej teorii ruchu mieszaniny cieczy i ciał stałych w przewodach rurowych. Naukowymi próbami rozwiązania tego zagadnienia

X/ Praca niniejsza stanowi skrót części pracy doktorskiej pt.: "Transport hydrauliczny węgla za pomocą pomp oraz zasilaczy tłokowych i obrotowych". Promotorem był prof. dr inż. Zygmunt Ciechanowski. Obrona pracy odbyła się dnia 29.VI.1959 r. są prace W.Makkawiewa [1], W.Budryka [2], [3], M.Welikanowa [1], [4], [5], [6], [7], R.Durand'a [8], Wszechzwiązkowego Instytutu Naukowo-Badawczego Hydrotechniki [9], Wszechzwiązkowego Węglowego Instytutu Górniczego [9] oraz innych instytutów i laboratoriów [10], [11], [12], [13], [14], [15], [16], [17], 18, [19], [20], [21], [22], [23], [24], [25].

Wyniki obliczeń przeprowadzonych za pomocą metod podanych w wyżej wymienionych publikacjach, wykazują w porównaniu z wynikami uzyskanymi z oksperymentów różnice, które powiąkszają się w miarę wzrostu średnicy ziarn transportowanych ciał stałych. Niedoskonałość znanych metod uwidacznia się szczególnie przy rozpatrywaniu poziomych przewodów rurowych.

Potrzeba wyznaczenia spadków ciśnienia przy transpor cie hydraulicznym węgla z dokładnością większą niż to wynika z dotychczasowych prac, doprowadziła do opracowania metody przedstawionej w niniejszej pracy. Równania przepływu mieszaniny wody i węgla wyprowadzono opierając się na analizie strony fizycznej zjawiska. Potrzebne do obliczeń wartości wyznaczono na podstawie eksperymentów.

2. Wyniki badań i obserwacji

2.1. Zakres badan

Doswiadczenia przeprowadzono na poziomych przewodach rurowych o średnicy 80,100,150,185 i 200 mm,- przy rozmaitych koncentracjach węgla w wodzie transportującej. Przedmiotem pomiarów były następujące wielkości: ciśnienie, temperatura, spadek ciśnienia wody, natężenie przepływu wody i natężenie przepływu węgla [26], [27], [28], [29], [30], [31]. Ponadto sprawdzono stopień rozdrobnienia węgla. Jak widać z fotografii /rys.1/ kształt ziarn węgla jest rozmaity i dlatego nie można ściśle określić średnicy średniego wymiaru ziarna. Wszelkie sposoby określenia średnicy ziarna mają charakter przybliżony [32]. Przy określeniu średnicy ziarn posługiwano się wzorem

$$d_s = \frac{l_z + b_z}{2}$$
(1)

gdzie: 1 mm długość ziarna

b mm szerokość ziarna

W badaniach stosowano węgiel o następujących średnich średnicach ziarna.

Lp∘	Srednia przewodu rurowego D mm	Šrednia średnica ziarna węgla d _{sm} mm
1	60	14
2	100	24
3	150	24
4	185	40
5	200	40

Przy określaniu koncentracji rozróżniano koncentrację Y_{to} lokalną i Y_{τ} czasową. Koncentracja czasowa wynika ze stosunku natężenia przepływu węgla i wody.

$$Y_{\tilde{t}} = \frac{G_{s}}{G_{1}^{*}}$$
 (2)

gdzie: G^{*} kg/sec - natężenie przepływu cząstek węgla, G^{*} kg/sec - natężenie przepływu wody.

Badania prowadzono przy trzech wartościach koncentracji czasowej $Y_T = 1/3$, 1/5 i 1/7.

Przy ustalonym przepływie mieszaniny wody i węgla w poziomym przewodzie rurowym, prędkość c. wody jest większa od prędkości c. węgla. Ta różnica prędkości wywołuje działanie dynamiczne wody na węgiel, dzięki któremu cząstki węgla są "wleczone" przez wodę.

Na skutek różnicy prędkości wody i węgla cząsteczki wody wykonują większą drogę niż cząsteczki węgla, a co za tym następuje na odcinku dl długości przewodu, ziarna węgla znajdują się dłużej od cząstek wody. Różnica prędkości ma więc wpływ na wielkość koncentracji lokalnej Y_{lo} jaka występuje w dowolnym odcinku przewodu rurowego dl.

Koncentrację lokalną można określić za pomocą wzoru:

 $Y_{lo} = \frac{\frac{G^*}{s}}{\frac{G^*}{l}} \cdot \frac{c_1}{c_s}$

(3)

2.2. Wyniki obserwacji i badań

a. Obserwacje ruchu sollikwidusu

W pierwszej kolejności przeprowadzono badania i obserwacje mające na celu ustalenie jak zachowują się cząstki węgla, przy przepływie w poziomych przewodach rurowych. Badania te przeprowadzono w szklanym przewodzie rurowym /rys.2/ oraz przy pomocy odcinków przeźroczystych rur w przewodach rurowych o średnicy nominalnej 80, 100, 150, 185 i 200 mm /rys.3.4.5.6 i 7/.

W wyniku obserwacji stwierdzono, że w poziomych przewodach rurowych większość cząstek węgla płynie przez dolną połowę przekroju przewodu. Przy przepływie następuje rozwarstwienie cząstek węgla. Ziarna węgla o mniejszej średnicy są w zasadzie unoszone i płyną w strumieniu w osi geometrycznej przewodu rurowego lub powyżej niej, Cząstki węgla o większej średnicy płyną poniżej, a nawet są "wleczone" po ścianie przewodu rurowego.

Podkreślić należy, że transportowane cząsteczki węgla, płynąc są obracane i stale zmieniają swoje położenie w strumieniu wody. Cząstki te uderzają wzajemnie o siebie i ścianę przewodu rurowego. Niektóre ziarna zwłaszcza o większej średnicy poruszają się "skokami". Im prędkość przepływu jest większa tym więcej cząstek węgla jest unoszonych w strumieniu wody, a mniej jest przesuwanych po dolnej części przewodu rurowego.

Doświadczenia potwierdziły pogląd, że aby zapobiec tworzeniu się zatorów i zatykaniu się przewodu rurowego, średnica transportowanych ziarn węgla nie może przekraczać 1/3 do 1/2 średnicy przewodu rurowego.

b. Wyniki badań

Dalsze serie badań miały na celu wyznaczenie strat ciśnienia dla poziomych przewodów rurowych o różnych średnicach dla różnych średnic ziarn węgla oraz różnych koncentracji ciężarowych. Wyniki z doświadczeń podano w formie charakterystyk strat ciśnienia Ahaf(c_{sl}) /rys.8,9,10,11 i 12/. Trzeba stwierdzić, że krzywe strat ciśnienia przy większych prędkościach przepływu mieszaniny mają kształt podobny do krzywej strat ciśnienia przy przepływie czystej wody.



Rys.1. Kształt ziarn węgla

Rys.2. Przepływ wody i węgla w szklanym przewodzie rurowym



Rys.3. Przepływ wody i węgla w przewodzie rurowym o średnicy 80 mm



Rys.4. Przepływ wody i węgla w przewodzie rurowym o średnicy 100 mm



Rys.5. Przepływ wody i węgla w przewodzie rurowym o średnicy 150 mm



Rys.6. Przepływ wody i węgla w przewodzie rurowym o średnicy 185 mm



Rys.7. Przepływ wody i węgla w przewodzie rurowym o średnicy 200 mm

Spadek ciśnienia przy ustalonym ...



Rys.9. Straty ciśnienia w poziomym przewodzie rurowym o średnicy D=100 mm dla Yr = 1/3, 1/5 i 1/7 oraz średnicy ziarna węgla d = 18 do 30 mm

Maciej Zarzycki



Rys.10. Straty ciśnienia w poziomym przewodzie rurowym o średnicy D = 150 mm dla $Y_{i'} = 1/3, 1/5$ i 1/7oraz średnicy ziarna węgla d_s = 18 do 30 mm



Rys.11. Straty ciśnienia w poziomym przewodzie rurowym o średnicy D = 185 mm dla L = 1/3, 1/5 i 1/7 oraz średnicy ziarna węgla d = 30 do 50 mm





Rys,12. Straty ciśnienia w poziomym przewodzie rurowym o średnicy D = 200 mm dla $Y_7 = 1/3$, 1/5 i 1/7oraz średnicy ziarna węgla d_s = 30 do 50 mm

Jak wynika z przeprowadzonych pomiarów, krzywe przy pewnej prędkości osiągają minimum, przy którym straty ciśnienia są najmniejsze. Poniżej tej prędkości straty ciśnienia wzrastają, Zwiększenie strat ciśnienia jest spowodowane zwiększonym tarciem na skutek opadania i osadzania się w przewodzie rurowym coraz większej ilości cząstek węgla przy mniejszych prędkościach przepływu. Wyznaczone charakterystyki były podstawą do przeprowadzenia obliczeń omówionych w rozdziale 3.

3. Równania opisujące przepływ sollikwidusu w poziomych przewodach rurowych

Zjawiska ustalonego ruchu sollikwidusu można opisać za pomocą trzech równań:

- 1. równanie ciągłości strumienia
- 2. równanie ruchu ciała stałego
- 3. równanie ruchu cieczy.

3.1. Równanie ciągłości strumienia

Przy hydraulicznym transporcie węgla przekrój strumienia jest częściowo wypełniony przez wodę, a częściowo przez cząstki węgla /rys.2.3.4.5.6 i 7/.

Ogólnie przekrój strumienia F można wyznaczyć wzerem:

$$F = \frac{G^* \circ V}{c} = \frac{G^*}{c \circ \gamma}$$
(4)

Sumując część F, przekroju zajętą przez wodę i część F zajętą przez ciało stałe otrzymamy równanie ciągłości strumienia dla mieszaniny:

$$\mathbf{F} = \mathbf{F}_{1} + \mathbf{F}_{s} = \frac{\mathbf{G}_{1}^{*}}{\mathbf{c}_{1} \cdot \boldsymbol{\gamma}_{1}} + \frac{\mathbf{G}_{s}^{*}}{\mathbf{c}_{s} \cdot \boldsymbol{\gamma}_{s}}$$
(5)

Wprowadzając do wzoru (5) stosunek prędkości c_l cieczy do prędkości c_c ciała stałego otrzymuje się:

$$F = \frac{1}{c_1} \left(\frac{G_1^*}{\gamma_1} + \frac{a_* G_s^*}{\gamma_s} \right)$$
 (5a)

gdzie:

$$a = \frac{c_1}{c_8}$$
(6)

W rozpatrywanym przypadku przekrój strumienia jest stały, a więc spełniony jest warunek

$$F = idem$$
 (7)

3.2. Równanie ruchu ciała stałego

Przy transporcie hydraulicznym cząstka węgla porusza się dzięki dynamicznemu działaniu wody. Siłę dynamiczną działającą na jedną cząstkę ciała stałego oznaczonego symbolem K_i, Hamująco na ruch cząstek węgla działa tarcie o ściany przewodu K_p /rys.13/.

	C K
Kp	27
7	

Rys.13. Przepływ cząstki węgla w poziomym przewodzie rurowym

Wypadkową siłę działającą na cząstkę węgla przy przepływie przez poziomy przewód rurowy otrzymuje się z równania ogólnego:

$$K_{1} - K_{f} = m_{s} \frac{dc_{s}}{d\tau} \qquad (8)$$

ĸ	20	sila dunamicam
11	1.0	noro driekonie
		mego uziaiania
		wody
K.	kG -	siła tarcia
-	2,	
m_	kG sec /m-	masa cząstki
5		ciała stałego
c	m/sec -	predkość prze-
S		ntum ciata
		prywu crara
		stakego
T	sec	CZAS

W rozpatrywanym przypadku występuje stała prędkość /dc = 0/, a więc równanie (8) przyjmie postać:

$$K_{\gamma} - K_{\rho} = 0 \tag{9}$$

a stąd

$$K_1 = K_2 \tag{9a}$$

Siła dynamicznego działania wody jest więc całkowicie zrównoważona przez tarcie cząstek węgla o ściany przewodu.

Można przyjąć, że cząstki węgla są wleczone przez wodę po części dolnej wewnętrznej powierzchni przewodu rurowego. W rzeczywistości ruch cząstek węgla w poziomym przewodzie rurowym jest znacznie hardziej skomplikowany. Hamujące działanie ściany wewnętrznej przewodu przenosi się również na cząstki węgla oddalone od ścian, za pośrednictwem cieczy i cząstek przesuwających się przy ścianie. Siła K, wyraża więc wypadkową wszystkich oddziaływań hamujących. Siła K dynamicznego działania wody na cząstkę węgla wynosi:

$$K_{1} = \Psi f_{s} \cdot \frac{A^{2}}{2\mu} \gamma_{1}$$
 (10)

$$A = c_1 - c_s = c_1 \frac{a-1}{a}$$
 (11)





Liczba oporu ¥ zależy od liczby Reynoldsa Reg dla opływu cząstki ciała stałego przez ciecz /rys.14/. Liczbę Reg określa wzór:

$$\operatorname{Re}_{s} = \frac{A \cdot d_{s}}{\sqrt{1}}$$
(12)

gdzie: s m - równoważna średnica cząstki ciała stałego

Sikę tarcia cząstki węgla o ścianę przewodu można wyrazić podobnie jak w mechanice ciała stałego z tym, że liczba tarcia $e_{\mathbf{f}}$ ma odmienną wartość jak przy tarciu suchym.

$$K_{f} = V_{s} \cdot (\gamma_{s} - \gamma_{1}) \cdot \frac{g}{\mu} \cdot e_{f}$$
(13)

gdzie:
$$V_s m^3$$
 - objętość cząstki węgla
 $V_s (\gamma_s - \gamma_1) \frac{\varepsilon}{\mu} - kG$ - ciężar cząstki węgla za-
nurzonej w wodzie
 ϱ_f - liczba tarcia zanurzonej
w wodzie cząstki węgla
o ściany przewodu ruro-

Podstawiając równania (10) i (13) do wzoru (9a) otrzymuje się:

$$\Psi f_{s} \frac{A^{2}}{2\mu} \gamma_{1} = \Psi_{s} (\gamma_{s} - \gamma_{1}) \frac{g}{\mu} \rho_{f} \qquad (14)$$

wego.

Uwzględnienie rówmania (14) w dalszych rozważaniach nie jest celowe. Równanie to bowiem mogłoby służyć tylko do wyliczenia wartości *o*. Jak wykazano dalej wielkość nie jest potrzebna dla obliczenia spadku ciśnienia.

3.3. Równanie ruchu sollikwidusu

a. Równanie podstawowe

Dla ustalenia równania ruchu cieczy można wykorzystać podstawowe równanie hydrodynamiki, które mówi, że przy przepływie ustalonym praca techniczna spadku ciśnienia w przewodzie zużywa się na przyspieszenie strumienia cieczy i pokonanie sił tarcia

$$= V^{*} dP = G^{*} \frac{c dc}{\mu} + dL_{f}^{*}$$
(15)

gdzie:

G^{*} kg/sec - natężenie przepływu substancji V^{*} m³/sec - objętościowe natężenie przepływu L^{*} kGm/sec - praca tarcia odniesiona do jednostki czasu.

Po zastosowaniu do mieszaniny wody i węgla równanie (15) przyjmuje postać

$$-\left(\frac{\mathbf{G}_{1}^{\star}}{\gamma_{1}}+\frac{\mathbf{G}_{s}^{\star}}{\gamma_{s}}\right)\mathbf{dP} = \mathbf{dL}_{f}^{\star}+\mathbf{G}_{1}^{\star}-\frac{\mathbf{C}_{1}\mathbf{dC}_{1}}{\mu}+\mathbf{G}_{s}^{\star}-\frac{\mathbf{C}_{s}\mathbf{dC}_{s}}{\mu} \quad (15a)$$

Całkowita praca tarcia składa się z pracy tarcia L_{fl} cieczy o ściany przewodu, z pracy tarcia L^{*} cząstek węgla o ściany przewodu i pracy tarcia L wody o cząstki węgla.

$$dL_{f}^{*} = dL_{fl}^{*} + dL_{fs}^{*} + dL_{fsl}^{*}$$
(16)

lub

$$dL_{f}^{*} = dL_{fl}^{*} + G_{s}^{*} K_{fl} dx + G_{s}^{*} K_{l1} dy$$
 (15a)

gdzie:

Ken	kG/kg -	siła tarcia cząstek węgla o przewód
		odniesiona do 1 kg cząstek węgla
K ₁₁	kG/kg -	siła dynamicznego działania wody na
		cząstki węgla odniesiona do 1 kg cząs=
		tek węgla

- dx m rozpatrywany odcinek przewodu rurowego
- dy m droga na jakiej działa siła tarcia K

Aby określić wielkość dy, należy stwierdzić, że w obrębie rozpatrywanego odcinka przewodu rurpwego, inny jest czas d7 przepływu wody, a inny czas d7 przepływu cząstek węgla. Ponieważ woda i cząstki węgla przepływają tę samą drogę

dx przeto

$$c_1 \cdot d\tilde{\iota} = c_s \cdot d\tilde{\iota}_s \tag{17}$$

lub

$$d\mathcal{T}_{g} = \frac{c_{1}}{c_{g}} \cdot d\mathcal{T} = a d\mathcal{T}$$
 (17a)

Droga na jakiej występuje siła dynamicznego działania wody na cząstki węgla wynosi:

$$dy = (c_1 - c_s) d\mathcal{I}_s = (c_1 - c_s) \frac{c_1}{c_s} d\mathcal{I} = A \cdot a \cdot d\mathcal{I} \quad (18)$$

Z podstawienia równania (18) do wzoru (16a) wynika

$$dL_{f} = dL_{1}^{*} + G_{s}^{*}K_{f1}dx + G_{s}^{*}K_{11}(c_{1}-c_{s})\frac{c_{1}}{c_{s}}dt \quad (19)$$

Podstawiając wyrażenie (19) do wzoru (15a) otrzymuje się:

$$-\left(\frac{G_{1}^{*}}{\gamma_{1}}+\frac{G_{s}^{*}}{\gamma_{s}}\right)dP = dL_{f1}^{*}+G_{s}^{*}K_{f1}dx+G_{s}^{*}K_{11}(c_{1}-c_{s})\frac{c_{1}}{c_{s}}d\tau + G_{1}^{*}\frac{c_{1}dc_{1}}{\mu}+G_{s}^{*}\frac{c_{s}dc_{s}}{\mu}$$

$$(20)$$

W celu uproszczenia równania (20) należy wziąć pod uwagę równanie ruchu cząstek węgla (2), które w odniesieniu do 1 kg cząstek węgla przyjmuje postać:

$$K_{11} - K_{f1} = \frac{1}{\mu} \cdot \frac{ac_s}{d\tau_s}$$
(21)

lub po uwzględnieniu zależności wyrażonej równaniem (17a)

$$K_{11}-K_{f1} = \frac{1}{\mu} \frac{\mathrm{d} \mathbf{c}_{\mathbf{s}}}{\mathrm{d} \tau} \cdot \frac{\mathbf{c}_{\mathbf{s}}}{\mathbf{c}_{1}} \qquad (21a)$$

Stad

$$K_{f1} = K_{11} - \frac{1}{\mu} \frac{dc_s}{d\tau} \cdot \frac{c_s}{c_1}$$

oraz

$$G_{s}^{*}K_{f1} dx = G_{s}^{*}K_{11} dx - G_{s}^{*}\frac{1}{\mu} \frac{dc_{s}}{d\tau} \frac{c_{s}}{c_{1}} dx$$

Ponieważ

$$\frac{\mathrm{d}\mathbf{x}}{\mathrm{d}\mathbf{U}} = \mathbf{c}_{1}$$

otrzymuje się

$$G_{s}^{*} K_{11} dx = G_{s}^{*} K_{11} c_{1} \cdot dt - G_{s}^{*} \frac{1}{\mu} c_{s} dc_{s}$$
 (22)

Z podstawienia równania (22) do wzoru (20) wynika

$$-\left(\frac{G_{1}^{\star}}{\gamma_{1}}+\frac{G_{s}^{\star}}{\gamma_{s}^{\star}}\right)dP = dL_{f1}^{\star}+G_{1}^{\star}\frac{c_{1}dc_{1}}{\mu}+G_{s}^{\star}K_{11}\frac{c_{1}}{c_{s}}c_{1}d\mathcal{I}$$
 (23)

lub

$$-\left(\frac{G_{1}^{*}}{\gamma_{1}}+\frac{G_{8}^{*}}{\gamma_{8}}\right)dP = dL_{f1}^{*}+G_{1}^{*}\frac{c_{1}dc_{1}}{\mu}+G_{1}^{*}Y_{10}K_{11}c_{1}dx(24)$$

gdzie Y₁₀ oznacza koncentrację lokalną sollikwidusu, którą można wyznaczyć z równania (3). Z równania (24) wynika, że praca techniczna spadku ciśnienia zużywa się na:

a/ pokonanie oporu tarcia wody o ścianę przewodu,

b/ przyspieszenie wody,

c/ dynamiczne działanie wody na cząstki węgla.

Tę ostatnią wielkość należy obliczyć za pomocą koncentracji lokalnej Z₁₀, Warto tu podkreślić, że we wzorach prof. Barta [33] na obliczenie strat ciśnienia występuje koncentracja czasowa $Y_{\overline{L}}$ co oczywiście nie jest słuszne.

W rozpatrywanym przypadku szczególnym, przyspieszenie cząstek wody nie występuje $dc_1 = 0$, a więc z równania (24) otrzymuje się

 $-\left(\frac{G_{1}^{*}}{\gamma_{1}}+\frac{G_{s}^{*}}{\gamma_{s}}\right)dP = dL_{f1}^{*}+G_{1}^{*}Y_{10}K_{11}C_{1}dT \quad (24a)$

b/ Praca tarcia wody o ścianę przewodu rurowego

Wyrażenie dle w równaniu (24a) wymaga oddzielnego rozpatrzenia, gdyż nie można go ująć tak jak przy przepływie czystej wody.

Zgodnie ze znanym twierdzeniem hydrodynamiki, naprężenie styczne pomiędzy wodą a ścianą przewodu rurowego jest proporcjonalne do ciśnienia dynamicznego cieczy

$$\sigma_{t} = \lambda \frac{c_{1}^{2} \gamma_{1}}{2\mu}$$
(25)

gdzie: λ - liczba tarcia

Siła styczna dK_{τ}, która działa na obwodzie elementu przewodu dx wynosi:

$$dK_{\tau} = \pi D \, d\mathbf{x} G_{\tau} = \frac{c_1^2 \, \gamma_1}{2\mu} \, \lambda \pi D \, d\mathbf{x} \qquad (26)$$

gdzie:

D m - średnica wewnętrzna przewodu rurowego.

Przesunięcie wywołane przez tę siłę w jednostce czasu jest równe c. Stąd odniesiona do jednostki czasu praca tarcia wody dL^{*} na odcinku dx wynosi:

$$dL_{fl}^{*} = \frac{c_{1}^{2} \gamma_{1}}{2\mu} \lambda \pi D c_{1} dx \qquad (27)$$

Przy przepływie czystej wody praca tarcia wynosi:

$$dL_{f1}^{*} = G_{1}^{*} dl_{f1} = \frac{\pi D^{2}}{4} c_{1} \gamma_{1} dl_{f1}$$
 (28)

gdzie:

dl_r kGm/kg - praca odniesiona do 1 kg wody.

Podstawiając równanie (28) do wzoru (27) otrzymuje się:

$$dl_{fl} = \frac{e_1}{2\mu} \frac{dx}{D} 4\lambda \qquad (29)$$

Należy zauważyć, że w hydraulice dla uproszczenia wzorów stosuje się liczbę tarcia λ_{\star} czterokrotnie większą od liczby λ występującej we wzorze (29).[34],[35],[36], [37].

 $\lambda_{p} = 4\lambda$

Po podstawieniu do wzoru (28) wartości $\lambda = \frac{\lambda_{f}}{4}$ otrzymuje się:

$$dL_{fl} = \frac{c_1^2 \gamma_1}{2\mu} \frac{\lambda_f}{4} \mathcal{T} D c_1 dx$$
 (30)

lub w odniesieniu do 1 kg wody

$$l_{f1} = \frac{c_1^2}{2u} \frac{\lambda_f}{4} \pi D c_1 \gamma_1 dx \frac{1}{G_1^*}$$
(31)

Trzeba podkreślić, że liczba tarcia λ w równaniu (31) może mieć nieco inną wartość niż przy przepływie czystej wody, z powodu zmiany profilu prędkości wywołanego obecnością cząstek węgla w strumieniu przepływającej mieszaniny. W dalszych wywodach przyjęto jednak, że λ ma wartość taką jak dla czystej wody, a wpływ obecności w strumieniu cząstek węgla uwzględniono w innych wielkościach wynikających z doświadczenia. Po podstawieniu wyrażenia (31) do wzoru (24a) i uproszczeniu przez G_1^{\star} otrzymano:

$$-\left(\frac{1}{\gamma_{1}}+\frac{Y_{\tau}}{\gamma_{s}}\right) dP = \left[\frac{c_{1}^{2}}{2\mu}\frac{\lambda_{f}}{4}\pi D \frac{c_{1}\gamma_{1}}{G_{1}^{*}}+Y_{\tau}\frac{c_{1}}{c_{s}}K_{11}\right] dx \quad (32)$$

4. Spadek ciśnienia wody

Równanie (32) pozwala uzyskać ostateczny wzór na spadek ciśnienia wody transportującej węgiel. Siłę K dynamicznego działania wody na 1 kg węgla można wyznaczyć za pomocą wzoru (10)

$$K_{11} = K_1 \frac{1}{v_s \gamma_s} = \psi \frac{f_s}{v_s} \frac{\gamma_1}{\gamma_s} \frac{A^2}{2\mu}$$
 (33)

wprowadzając wyrażenie (33) do równania (32) otrzymuje się po scałkowaniu wzór na spadek ciśnienia wody:

$$(P_1 - P_2)\left(\frac{1}{\gamma_1} + Y_{\overline{t}} \frac{1}{\gamma_s}\right) = L \left[\frac{c_1}{2\mu} \frac{\lambda_f}{4} \mathcal{J}_{\overline{t}} D \frac{c_1\gamma_1}{G_1} + Y_{\overline{t}} a \frac{\gamma_1}{\gamma_s} \frac{f_s}{V_s} \frac{A^2}{2\mu}\right]$$

$$(34)$$

gdzie:

L m - długość przewodu rurowego.

W równaniu (34) występują liczby ψ oraz λ_{f} których wartości zgodnie z przyjętymi założeniami mogą być wzięte z literatury.

Należy zwrócić uwagę, że mimo znajomości praw podług których zmieniają się i ψ nie jest możliwe obliczenie spadku ciśnienia z równania (34) bez wykorzystania wyników doświadczeń.

Dla obliczenia spadku ciśnienia stoją bowiem do dyspozycji równania (34) (5a) (11) oraz znane z literatury zależności $\lambda_{\tau} = f(Re_s)$, oraz $\gamma = f(Re_s)$.

Niewiadomymi natomiast są: AP/L, c,, a, A, A, i V.

Mając 5 równań nie można wyznaczyć 6 niewiadomych. Konieczne jest doświadczalne ustalenie jednej zależności pomiędzy tymi niewiadomymi.

Przyjęto, że wielkością wyznaczoną na podstawie doświadczeń będzie stosunek a = c_1/c_s .

Znając bowiem wartości stosunku a, można będzie łatwo wyznaczyć c oraz A z równań (5a) i (11), a następnie obliczyć z wzoru (34) wartość ΔP/L. Niezupełna ścisłość założeń, przy ustalaniu λ_p /przyjęto jak dla czystej wody/ oraz Ψ /przyjęto jak dla kuli/ musi oczywiście odbić się na wyniku obliczenia stosunku c_1/c_s . Obliczone wartości c_1/c_s mają więc znaczenie raczej pewnej pomocniczej wielkości obliczeniowej i mogą różnić się od wartości rzeczywistych.

Przy obliczaniu liczby tarcia wody o ściany przewodu. zastosowano równanie Nikuradsego [38] [39]

$$\lambda_{f} = 0,0032 + \frac{0.221}{Re_{1}^{0.237}}$$
(35)

Równanie to można stosować w zakresie wartości Re₁ < 3 000 000.

5. Stosunek "a" prędkości wody do prędkości cząstek węgla

5.1. <u>Wyznaczenie wartości stosunku "a" na podstawie wy-</u> ników doświadczeń

W rozdziale 2 opisano przeprowadzone doświadczenia. W doświadczeniach tych nie było możliwe dokładne utrzymanie założonych wartości koncentracji węgla w mieszaninie z wodą. Aby ustalić wpływ koncentracji na wartość stosunku a, konieczne było w dalszych obliczeniach nakreślenie krzywych $Y_{\overline{t}}$ = idem. Aby wykonanie tego zadania ułatwić, zastosowano metodę następującą.

Na podstawie wyników eksperymentów, ustalono dla poszczególnych średnic przewodu rurowego charakterystyki przedstawiające zależności spadku ciśnienia przypadającego na jednostkę długości przewodu od prędkości przepływu i od koncentracji węgla w mieszaninie /rys.8, 9,10,11 i 12/.

Charakterystyki tego typu spotyka się w literaturze [13] [24].

Jako zmienną na osi odciętych przyjęto obliczeniową prędkość przepływu mieszaniny wynikającą ze wzoru:

$$P_{sl} = \frac{1}{F} \left(\frac{G_1^*}{\gamma_1} + \frac{G_s^*}{\gamma_s} \right)$$

(36)

Sposób przyjęcia zmiennej na osi odciętych nie jest zresztą istotny. Charakterystyki spadku ciśnienia przedstawione na rysunkach /rys.8,9,10,11 i 12/ mają znaczenie tylko pomocnicze, a mianowicie stanowią podstawę dla skorygowania niewłaściwych wartości koncentracji.

Po nakreśleniu wygładzonych krzywych stałej koncentracji przystąpiono do obliczenia wartości stosunku $a = c_1/c_s$. Obliczenie przeprowadza się metodą kolejnych przybliżeń.

Dla przyspieszenia zbieżności lepiej jest równanie (34) przekształcić uwzględniając wzór (11):

$$(\mathbf{P}_{1}-\mathbf{P}_{2})\left(\frac{1}{\gamma_{1}}+\frac{\mathbf{Y}_{\tau}}{\gamma_{s}}\right) = \mathbf{L} \cdot \frac{\mathbf{c}_{1}^{2}}{2\mu} \left[\frac{\lambda_{f}}{4} \pi \mathbf{D} \frac{\mathbf{c}_{1} \gamma_{1}}{\mathbf{G}_{1}^{*}} + \mathbf{Y}_{\tau} \frac{\mathbf{f}_{s}}{\mathbf{V}_{s}} \frac{\gamma_{1}}{\gamma_{s}} \frac{(\mathbf{a}-\mathbf{1})^{2}}{\mathbf{a}}\right]$$

$$(37)$$

Tok obliczeń jest następujący:

- a. przyjmując pierwszą przybliżoną wartość stosunku a, oblicza się z wzoru (5a) prędkość c₁ przepływu wody,
- b. za pomocą wzoru (35) oblicza się wartość liczby tarcia λ_{r} ,
- c. z wzoru (11) wyznacza się prędkość względną A, z wzoru laś (12) oblicza się Re_,
- d. znając wartość Re odczytuje się z wykresu /rys.14/ wartość
- e. wszystkie obliczone w pierwszym przybliżeniu wartości podstawia się do równania (34) i oblicza się poprawioną wartość a,
- f. po obliczeniu poprawionej wartości a, należy poprawić kolejno wartości A, Re, ψ korzystając z wzorów wyżej wymienionych,
- g. poprawione wartości należy podstawić ponownie do wzoru (37) i obliczyć powtórnie poprawioną wartość a.

Próby kontynuuje się aż do uzyskania zgodności wartońci a, wynikającej z wzoru (37) z wartością podstawioną w danym etapie obliczeń do wzoru (5a).

5.2. <u>Ustalenie praw według których zmienia się stesu</u> nek "a"

Obliczone wartości stosunku "a" naniesiono w układzie /a,c₁/. Poszczególne grupy punktów dotyczą stałej średnicy ziarna, stałej średnicy przewodu oraz stałej koncentracji /rys.15/.



Rys.15. Krzywe stałej koncentracji, stałej średnicy ziarna i stałej średnicy przewodu rurowego w układzie /a,c,/ Z uzyskanego wykresu wyciągnięto następujące wnioski:

A. Stosunek a zależy głównie od prędkości c₁ oraz od średnicy ziarna d. Wielkość a jest bezwymiarowa, powinna więc być funkcją jakiegoś kryterium bezwymiarowego. Wobec tego w dalszych próbach wprowadzono na osi odciętych liczbę Frouda, obliczoną przy użyciu prędkości

 $\mathbf{Fr}_{\mathrm{sl}} = \frac{\mathbf{g} \cdot \mathbf{d}_{\mathrm{s}}}{\mathbf{c}_{\mathrm{l}}^{2}}$ (38)

B. Wpływ średnicy przewodu rurowego na wartość a, jest bardzo mały i niejednoznaczny. Na ogół przy tej samej prędkości c₁ w przewodzie rurowym o większej średnicy uzyskiwano nieco większe wartości a, niejednokrotnie jednak stwierdzono wpływ wręcz przeciwny. Na przykład stwierdzono przecinanie się krzywych dotyczących średnic 100 i 150 mm (średnica ziaina węgla w obu przypadkach jest taka sama).

Przyjęto więc, że przeprowadzone doświadczenia nie dają dostatecznej podstawy, dla ustalenia wpływu średnicy przewodu rurociągu. Wobec stwierdzenia, że wpływ ten jest bardzo mały, pominięto go w dalszych rozważaniach.

C. Wpływ koncentracji jest również niewielki, ale jednoznaczny i uchwytny.

Przekroje pierwszego wykresu /rys.15/ nakreślone dla stałej prędkości c. i stałej średnicy ziarna wykazały że w więszości przypadków uzyskuje się w układzie (e-1), Y_T linie proste, przecinające się na osi Y_T we wspólnym ognisku o współrzędnych (a-1) = 0, Y_T = 1,2. Wobec tego na dalszych wykresach wprowadzono na osi rzędnych stosunek

$$y = \frac{a-1}{1,2-Y_{\tilde{k}}}$$
 (39)

Po naniesieniu obliczonych wartości "a" w układzie (Fr., y) okazało się, że wszystkie punkty układają się dość dobrze wzdłuż jednej krzywej.

Aby ułatwić ustalenie równania służącego do obliczenia stosunku "a", przedstawiono zależność pomiędzy zmie-

nymi y i Fr. w skali logarytmicznej /rys.16/. Z wykresu widać, że otrzymuje się dość wyraźne rozmieszczenie punktów na dwu odcinkach linii prostej.



Rys. 16. Wykres zależności $\frac{a-1}{1.2-Y_{\tilde{t}}}$ od Fris

Na podstawie położenia tych odcinków, ustalono wykładniki potęgowe i współczynniki liczbowe dla dwu zakresów wartości liczby Frouda. Ostateczna postać równań pozwalających obliczyć stosunek a, jest następująca:

$$a = 1 + 1,01 (1,2 - Y_{\tau}) \operatorname{Fr}_{ls}^{0,42}$$
 (40)

dla zakresu

$$1,8 \cdot 10^{-2} < Fr_{1s} < 4,3 \cdot 10^{-2}$$

oraz

 $a = 1 + 3,2 (1,2 - Y_T) Fr^{0,774}$ (41)

dla zakresu

$$3,7 \cdot 10^{-2} < \operatorname{Fr}_{1s} < 2 \cdot 10^{-1}$$

Wpływ koncentracji składnika w mieszaninie węgla z wodą był badany w stosunkowo wąskim zakresie. Stosowanie uzyskanych równań dla koncentracji wyraźnie odbiegających od tych jakie występowały w doświadczeniach jest więc niedopuszczalne. Widać to zresztą z postaci otrzymanych równań. Równania te przy wartości $L_T > 1,2$ prowadzą do błędnego wyniku a < 1.

Równania (40) i (41) są więc słuszne dla zakresu

$$0, 14 < Y_7 < 0, 33$$
 (42)

Przeprowadzone doświadczenia nie pozwalają rozstrzygnąć jak dalece można przy stosowaniu równań (40) i (41) wykroczyć poza te graniczne koncentracje bez obawy popełnienia poważnego błędu w obliczeniach.

Należy ponadto zwrócić uwagę, że w przeprowadzonych doświadczeniach stosowano węgiel o niewielkiej rozpiętości średnicy ziarn /na przykład średnica wahała się od 30 mm do 50 mm/. Można przypuszczać, że zakres zmienności średnicy ziarn oraz skład ziarnowy węgla mają wpływ na wielkość spadku ciśnienia. Wpływ powinien stać się w przyszłości przedmiotem dalszych badań.

Zasługuje również na uwagę wpływ temperatury wody, a właściwie wpływ zmian lepkości wody z temperaturą. Wpływ ten uwzględnia się już przy obliczaniu liczby tarcia która zależy od Re₁, a więc zmienia się z lepkością wody. Przeprowadzone doświadczenia pozwalają stwierdzić, że (przynajmniej w zakresie objętym doświadczeniami) zmiany lepkości wody nie wpływają w wyraźny sposób na stosunek "a", gdyż w równaniach określających ten stosunek, nie występuje liczba Reynoldsa, lecz liczba Frouda, która nie zawiera współczynnika lepkości.

6. Obliczenie spadku ciśnienia

Równania (34), (40) i (41) pozwalają przewidzieć spadek ciśnienia wody transportującej węgiel, jeżeli znane są następujące dane: natężenie przepływu G^{*} wody, natężenie przepływu G^{*} węgla, średnia średnica d_{sm} ziarna węgla, średnica D i długość L przewodu rurowego.

W pierwszym etapie obliczenia spadku ciśnienia konieczne jest zastosowanie metody kolejnych przybliżeń dla ustalenia wartości prędkości c₁ wody i stosunku "a". Kolejność obliczeń jest w tym etapie następująca:

- a. przyjmuje się pierwszą przybliżoną wartość stosunku "a", /a = 1,1 do 1,2/ i z równania (5a) oblicza się pierwszą przybliżoną wartość prędkości
 c1.
- b. po obliczeniu wartości Fr. z wzoru (38) znajduje się za pomocą wykresu /rys.16/ lub za pomocą równań (40) bądź (41) poprawioną wartość stosunku a,
- c. poprawiona wartość "a" służy do obliczenia poprawionej prędkości c₁ z równania (5a),
- d. poprawiona wartość c. służy do ponownego poprawienia stosunku "a".

Próby kontynuuje się aż do uzyskania zgodności wartości "a" wynikającej z równań (40) bądź (41) lub wykresu /rys.16/ z wartością podstawioną w danym etapie obliczeń do wzoru (5a).

Po ustaleniu prędkości c. wody i stosunku "a", przystępuje się do właściwych obliczeń w kolejności następującej: A. z równania (35) oblicza się liczbę tarcia λ_{f} , przy czym liczbę Re, oblicza się za pomocą wzoru:

$$\operatorname{Re}_{1} = \frac{c_{1} D}{v_{1}}$$
 (43)

B. oblicza się prędkość względną wody i węgla A z równania (11) oraz liczbę Re z równania (12). Następnie za pomocą wykresu /rys.14/ ustala się liczbę oporu Ψ ,

C. wszystkie wartości podstawia się do równania (34) i oblicza się spadek ciśnienia wody.

Metodę obliczania spadku ciśnienia przedstawiono niżej na przykładzie.

Przykład

Obliczyć straty ciśnienia dla poziomego przewod¹ rurowego o średnicy wewnętrznej D = 150 mm i długości L = 800 m, przy transporcie mieszaniny wody i węgla, dla danych:

natężenie przepływu wody transportującej $Q^* = 2,53 \text{ m}^3/\text{min}$, koncentracja $Y_{\tilde{\tau}} = 1:3$, średnica ziarna węgla $d_{\text{sm}} = 24 \text{ mm}$, gęstość węgla $\gamma_s = 1,3 \text{ kg/dcm}$, temperatura 15°C.

Rozwiązanie:

 $G_{1}^{*} = Q_{1}^{*} \cdot \gamma_{1} = 42,2 \text{ kg/sec}$ $G_{s}^{*} = Y_{\tilde{t}} \cdot G_{1}^{*} = 14,06 \text{ kg/sec}$

Przyjmując pierwszą przybliżoną wartość a = 1,1 oblicza się z wzoru (5a)

$$c_{1,0} = \frac{1}{F} \left(\frac{G_1}{\gamma_1} + \frac{G_8}{\gamma_8} \cdot a_0 \right) = 3,07 \text{ m/sec}$$

Z wzoru (38) wynika

$$Fr_{1s,o} = \frac{g \cdot d_{sm}}{c_{1,0}^2} = 0,02505$$

Dla zakresu 1,8.10⁻² < Fr_{1s} $< 4,3.10^{-2}$ poprawioną wartość a₁ liczy się ze wzoru (40)

$$a_1 = 1 + (1, 2 - Y_7)$$
, 1,01 $Fr_{1s,0}^{0,42} = 1,186$

Poprawiona prędkość przepływu wody wynika z wzoru (5a)

$$c_{1,1} = \frac{1}{F} \left(\frac{G_1}{\gamma_1} + \frac{G_s}{\gamma_s} \cdot a_1 \right) = 3,117 \text{ m/sec}$$

Z wzoru (38) poprawiona liczba Frouda wynosi:

$$Fr_{1s,1} = \frac{5 \cdot d_{sm}}{c_{1,1}^2} = 0,0229$$

Z wzoru (4C) oblicza się drugą poprawioną wartość stosunku "a"

$$a_2 = 1 + 1,01 (1,2 - Y_T) \operatorname{Fr}_{12,1}^{0,42} = 1,181$$

Druga poprawiona prędkość przepływu wody z wzoru (5a) wynosi

$$c_{1,2} = \frac{1}{F} \cdot (\frac{G_1}{\gamma_1} + \frac{G_2}{\gamma_2} a_2) = 3,113 \text{ m/sec}$$

Do dalszych obliczeń przyjęto $a = a_2 = 1,181$

$$c_1 = c_{1,2} = 3,113 \text{ m/sec}$$

$$A = c_1 \cdot (1 - \frac{1}{a}) = 0,48 \text{ m/sec}$$

Z wzoru (43) wynika

$$\operatorname{Re}_{1} = \frac{c_{1}}{v_{1}} = 4,10^{5}$$

Z wzoru (32) oblicza się

$$\lambda_{1} = 0,0032 + \frac{0.221}{\text{Re}_{1}^{0.237}} = 0,01365$$

Z wzoru (12) otrzymuje się

$$\operatorname{Re}_{s} = \frac{D d_{sm}}{v_{1}} = 1,02 \cdot 10^{4}$$

Z wykresu $\Psi = f(Re_{n}) - określa się wartość <math>\Psi$.

Ψ = 0,22

Po podstawieniu wartości do wzoru (34) otrzymuje się

$$\Delta P = \frac{L}{\frac{1}{\gamma_1} + \frac{Y_T}{\gamma_s}} \left[\frac{c_1^2}{2\mu} \cdot \frac{\lambda_f}{4} \pi D \frac{c_1 \gamma_1}{G_1^*} + Y_T, a \frac{\gamma_1 f_s A^2}{\gamma_s V_s 2\mu} \right] = 6,84 \text{ at}$$

Bibliografia

- [1] M. W e l i k a n o w: Dinamika rusłowych potokow, Gidrometeizdat, 1946 r.
- [2] W. B u r y k: Ruch podsadzki płynnej w rurociągach podsadzkowych, Przegląd Górniczo-Hutniczy, Nr 5-6, 7-8 i 9-10, 1929 r.
- [3] W. B u d r y k: Uproszczony sposób obliczania rurociągów podsadzkowych, Przegląd Górniczy Nr 1, 1949 r.
- [4] W. W e l i k a n o w: Dwiżenije nanosow, Rieczizdat, 1948 r.
- [5] B. K a t u l s k i: Gidrawliczeskaja teorija napornogo transporta smiesi twiordych czastic s wodoj, Gidrotiechniczeskoje Stroitielstwo, Nr 8, 1951 r.
- [6] A. I w a n o w: Pieriemieszczenije grunta napornymi i beznapornymi potokami, Rieczizdat, 1952 r.
- [7] A. P e ł c z e w s k i: Transportirujuszczaja sposobnost stalnych truboprowodow, Gidrctiechniczeskoje Stroitielstwo, Nr 5, 1952 r.
- [8] R. Durand, E.Condolios: Données techniques sur le refoulement hydraulique des materiaux solides en conduite, Paris, czerwiec 1955 r.

58	Maciej Zarzycki
[0]	W The state Menomy didnotrenenant usla
[9]	Ugol Nr 3, 1956 r.
[10]	R. Z a h a c z e w s k i: Doświadczenia w zakresie transportu hydraulicznego, Przegląd Górniczy, Nr 6, 1957 r.
[11]	R. Durand: Le transport hydraulique des mate- riaux en conduite et ses applications industrielles Equip.mecan. Nr 291, 1954 r.
[12]	R. Durand, E. Condolios: Congres du centenaire de la Societé de l'industrie minerale, czerwiec 1955 r.
[13]	A. J u f i n: Gidrotransport ugla po stalnym gori- zontalnym trubam, Ugol Nr 4 1956 r.
[14]	R. W orster, D. Denny: The Chartered Mecha- nical Engineer, marzec 1955 r,
[15]	R. Worster, D, Denny: The Steam Engineer, maj 1955 r.
[16]	R. W orster: Hydraulic Transport of Solid Material In Pipes, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Nr 32, 1955 r.
[17]	N. Mielnik ow: Gidromiechanizacija i gidro- transport na otkrytych górnych rabotach, Ugol Nr 1 1957 r.
[18]	A. S p i w a k o s k i j: Gidrawliczeskij i pniewma= ticzeskij transport, Moskwa 1953 r.
[19]	S c i v i e r: Hydraulic transport of cool, Collie- ry Guardian Nr 4807, 1953 r.
[20]	M. Borecki, T. Radowicki: Wysokociśnie- niowy hydrauliczhy transport węgla, W.G.H Katowice 1958 r.
[21]	K i n d e r m a n n: Kohlentransport mit Wasser in Rohrleitungen, Schlägel und Eisen, Nr 5, 1953 r.
[22]	A. T a y l o r: Transport hydraulique de charbon, Ann.Min.Belg. Nr 6, 1952 r.
[23]	J. T i l l o s t o n: Hydraulic transporation of solids, Mining Congr. styczeń 1953 r.

- [24] G. W a u c h o p e: Moving coal by pipeline, Colliery Engineering, wrzesień 1953 r.
- [25] G. W a u c h o p e: Moving coal by pipeline, Colliery Engineering, październik 1953 r.
- [26] J. Hengstenberg, B. Sturm, O. Winkler: Messen und Regeln in der Chemischen Technik. Berlin 1957 r.
- [27] J. K r ö n e r t: Handbuch der Technischen Betriebskontrolle, tom II Mengenmessungen im Betriebey Leipzig 1955 r.
- [28] K. M i r o n o w, L. S z i p i a t i n: Tiepłotiechniczeskije izmieritielnyje pribory i awtomaticzeskije regulatory, Noskwa 1956 r.
- [29] W. S c h w e r d t f e g e r: Elektrische Messtechnik, Leipzig 1941 r.
- [30] A. Troskolański is Hydromechanika Techniczna, Tom III, Pomiary Wodne, Warszawa 1957 r.
- [31] Praca zbiorowa: Aparatura Pomiarowa i Kontrolna, Warszawa 1954 r.
- [32] W. B u d r y k: Teoria przeróbki mechanicznej kopalin, Cz.I, Kraków 1954 r,
- [33] W. B a r t h: Strömungsvorgänge beim Transport von Festteilchen und Flüssigkeitsteilchen in Gasen, Chemie-Ing,-Techn Nr 3, 1958 r.
- [34] A. Troskolański: Hydromechanika Techniczna, Tom II Hydraulika, Warszawa 1954 r.
- [35] E. C z e t w e r t y ń s k i: Hydraulika i Hydromechanika, Warszawa 1958 r.
- [36] N. Frenkel: idrawlika, Gosenergoizdat, 1956 r.
- [37] F.S. Schwedler, G. Jürgennson: Handbuch der Rohrleitungen Berlin 1953 r.
- [38] S. O c h ę d u s z k o: Teoria Maszyn Cieplnych, cz,I 1955 r.
- [39] J. S z a r g u t: Termodynamika Techniczna, cz.I, Warszawa 1958 r.

Падение давления при установившемся течении смеси воды и угля в горизонтальных трубах

Резюме

В начальной статье работы Автор предъявил результаты исследований падения давления при гидравлическом транспорте угля в горизонтальных трубах. В следующем выведено уравнения (5), (23), (24) и (30) описывающие установившеся течение смеси жидкости и твердого тела. На основе этого выведено уравнение (34) для расчёта падения давления при гидравлическом транспорте в горизонтальных трубах. Неизвестной величиной в уравнении (34) является отношение "а" скорости воды и угля. На основании результатов исследований разработано диаграмму (рис. 16) и уравнения (40) (41) для расчёта отношения "а". Описан метод расчёта падения давления. Дан численный пример. Pressure Drop in a Steady Flow of Coal and Water Mixtures in Horizontal Pipe Lines

SUMMARY

The introductory section of this paper contains the results of the research work concerning the pressure drop by the hydraulic transportation of coal in horizontal pipelines. Further, are derived equations (5), (23), (24) and (30) describing the steady-state flow of the water-solidus mixtures. For this case a useful form (34) expresses the pressure drop in horizontal ducts of constant area. The velocity rate "a" in equation (34), which is the rate of water and coal velocities is the unknown value. Based on data taken from test results is shown the diagram /fig.16/ and are derived equations (40), (41) which determine the velocity rate "a".

The methode of pressure drop calculation is discussed. The example of the calculation is presented.