ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1969
Seria: GÓRNICTWO z. 36 Nr kol. 245

JERZY ROKITA

NIEKTÓRE PROBLEMY ZWIĄZANE Z ZASTOSOWANIEM POMP WIROWYCH W INSTALACJI PODSADZKOWEJ

Streszczenie. Omówiono ogólne warunki stosowania pomp wirowych w instalacjach podsadzkowych. Wyprowadzono zależność wydajności instalacji od wysokości podnoszenia pompy. Podano przykład liczbowy.

1. Wstęp

W związku z szerokim stosowaniem podsadzki hydraulicznej w górnictwie węglowym, problem odpowiedniego działania instalacji podsadzkowej ma istotne znaczenie dla wielu kopalń. Przy obliczaniu instalacji podsadzkowej najważniejszym zagadnieniem jest ustalenie wydajności instalacji dla danych warunków lokalnych.

Zgodnie z teorią ruchu podsadzki płynnej w rurociągach [1], [2] istnieje ścisły związek między maksymalną odległością podsadzania a wysokością rozporządzalną instalacji (wysokością napływu), dla danej wydajności.

Wskaźnikami charakteryzującymi instalację podsadzkową są:

$$J_s = \frac{H - 10}{\Sigma l}, \quad (1)$$

gdzie:

J_s - średni rozporządzalny spadek hydrauliczny instalacji podsadzkowej,

H m - wysokość rozporządzalna instalacji,

Σl m - rzeczywista długość przewodów rurowych,

oraz

$$A_s = 1{,}3 \frac{0{,}12\ \Sigma L - H}{\Sigma l} \tag{2}$$

gdzie:

A_s - średni współczynnik oporu materiału podsadzkowego (dla piasku),

ΣL m - całkowita długość przewodów rurowych w rzucie poziomym.

Istotnym zagadnieniem jest określenie najwłaściwszego dla danej instalacji stosunku objętościowego wody do piasku w.

Jeżeli $\frac{A_s}{J_s} > 0{,}78$, to stosunek ten może zostać określony ze związku:

$$w = 0{,}3 + 0{,}9 \frac{A_s}{J_s} \left[\frac{m^3 \text{ wody}}{m^3 \text{ piasku}}\right] \tag{3}$$

gdy natomiast $\frac{A_s}{J_s} < 0{,}78$, wtedy $w = 1$.

W przypadku gdy $\frac{A_s}{J_s} > 0{,}78$, wydajność instalacji podsadzkowej wyniesie:

$$Q = 450 \left(\frac{d}{150}\right)^{2{,}5} \frac{\sqrt{J_s}}{1 + \frac{A_s}{J_s}} \tag{4}$$

natomiast gdy $\frac{A_s}{J_s} < 0{,}78$, to

$$Q = 360 \left(\frac{d}{150}\right)^{2{,}5} \sqrt{J_s - 0{,}6\ A_s} \tag{5}$$

gdzie:

Q m^3/h - wydajność instalacji podsadzkowej,

d mm - średnica rurociągu.

2. Wpływ zainstalowania pompy wirowej na wydajność instalacji podsadzkowej

W kopalniach, w których podsadzanie wyrobisk odbywa się na niewielkich głębokościach, rozporządzalna wysokość instalacji jest często niewystarczająca dla zapewnienia odpowiedniej wydajności instalacji.

W celu zwiększenia wydajności instalacji podsadzkowej tam gdzie jest ona niewystarczająca, bądź w celu wywołania przepływu mieszaniny podsadzkowej gdy rozporządzalna wysokość instalacji jest za mała dla wywołania przepływu, zastosowanie znajdują pompy wirowe. Zastosowanie pompy wirowej w instalacji podsadzkowej powoduje zmianę wartości spadku hydraulicznego i współczynnika oporu materiału podsadzkowego.

I tak:

$$J_{sp} = J_s + \frac{H_p}{\Sigma l} \tag{6}$$

$$A_{sp} = A_s - 1{,}3\,\frac{H_p}{\Sigma l} \tag{7}$$

gdzie:

J_{sp} - średni rozporządzalny spadek hydrauliczny instalacji podsadzkowej po zastosowaniu pompy wirowej,

A_{sp} - średni współczynnik oporu materiału posadzkowego po zastosowaniu pompy wirowej,

H_p m- wysokość podnoszenia pompy przy danej wydajności.

Zależności (6) i (7) wynikają z zależności (1) i (2), przy założeniu, że zainstalowanie pompy wirowej w instalacji powoduje zwiększenie rozporządzalnej wysokości instalacji o wartość wysokości podnoszenia pompy (przy niezmienionej długości rurociągów).

Z zależności (6) i (7) wynika, że zainstalowanie pompy wirowej w instalacji podsadzkowej powoduje wzrost wartości spadku hydrau-

licznego i zmniejszenie wartości współczynnika oporu. Tym samym może zostać zwiększony udział piasku w transportowanej mieszaninie (gdy $\frac{A_{sp}}{J_{sp}} > 0,78$).

Wydajność instalacji podsadzkowej Q_p po zainstalowaniu pompy wirowej, wyniesie:

$$Q_p = 450 \left(\frac{d}{150}\right)^{2,5} \frac{\left(J_s + \frac{H_p}{\Sigma l}\right)^{1,5}}{A_s + J_s - 0,3 \frac{H_p}{\Sigma l}} \tag{8}$$

gdy $\frac{A_{sp}}{J_{sp}} > 0,78$,

lub

$$Q_p = 360 \left(\frac{d}{150}\right)^{2,5} \sqrt{J_s - 0,6\, A_s + 1,78 \frac{H_p}{\Sigma l}} \tag{9}$$

gdy $\frac{A_{sp}}{J_{sp}} < 0,78$.

Z zależności (8) i (9) wynika, że zastosowanie pompy wirowej w instalacji podsadzkowej powoduje zwiększenie jej wydajności. Zależności (8) i (9) otrzymano z zależności (4) i (5), podstawiając zamiast wielkości J_s i A_s, odpowiednio J_{sp} i A_{sp}.

3. Obliczenie wydajności instalacji podsadzkowej po zainstalowaniu pompy wirowej

Obliczając wydajność instalacji podsadzkowej w której została zainstalowana pompa wirowa, należy uwzględnić że wysokość podnoszenia pompy jest zależna od jej wydajności.

Dla danej pompy charakterystyka przepływu $H_p = f(Q)$ podawana jest zazwyczaj w odniesieniu do wody czystej. Przy pompowaniu mieszaniny wody z piaskiem wysokość podnoszenia pompy zmniejsza się. W zakresie pracy pompy (pobliże punktu maksymalnej sprawności) można przyjąć, że wysokość podnoszenia pompy w przypadku pompowania mieszaniny podsadzkowej H_{pm}, może zostać określona z zależności [3]:

$$H_{pm} = k_H \cdot H_{p(wody)} \tag{10}$$

gdzie:

k_H - doświadczalny współczynnik przeliczeniowy dla danej pompy, zależny od gęstości mieszaniny.

Znając charakterystykę danej pompy dla wody czystej $H_p = f(Q)$, można na podstawie zależności (10) otrzymać charakterystykę pompy dla mieszaniny podsadzkowej $H_{pm} = f(Q)$.

Wydajność instalacji podsadzkowej można obliczyć z zależności (8) lub (9), najłatwiej metodą graficzną. Należy w tym celu wykonać wykresy zależności obu stron równania (8) lub (9) od wydajności. Rzędna punktu przecięcia się obu krzywych określa wydajność instalacji. O stosowaniu równań (8) lub (9) decyduje wartość stosunku $\frac{A_{sp}}{J_{sp}}$.

Zależności (8) lub (9) mogą zostać wykorzystane do wstępnego określenia wysokości podnoszenia pompy, koniecznej do osiągnięcia potrzebnej wydajności instalacji.

Ilość transportowanego w czasie piasku $\dot{V}_p$ można określić z zależności:

$$\dot{V}_p = \frac{Q_p}{1 + w} \tag{11}$$

4. Zużycie energii elektrycznej

Zainstalowanie pompy wirowej w instalacji podsadzkowej powoduje zużycie energii (przy napędzie pompy silnikiem elektrycznym). Wskaźnik zużycia energii [w kJ/m^3 piasku] można określić z następującego wzoru:

$$e = \frac{9{,}81\ H_p}{\eta_z}\left(\frac{\gamma_p}{\gamma_w} + w\right) \tag{12}$$

gdzie:

γ_p - ciężar właściwy piasku,

γ_w - ciężar właściwy wody,

η_z - sprawność zespołu pompowego.

Przy wstępnym określaniu wartości wskaźnika e, wartość sprawności zespołu pompowego można przyjmować w granicach $\eta_z = 0{,}50 \div 0{,}55$. Wielkość zużycia energii ulega zmianie w trakcie eksploatacji pompy na skutek jej zużycia (zmiana wartości H_p i η_z).

5. Wybór miejsca zainstalowania pompy w instalacji podsadzkowej

Z dotychczasowych rozważań nie wynikają żadne przesłanki dotyczące miejsca zainstalowania pompy wirowej w instalacji podsadzkowej. Oznacza to, że wydajność instalacji teoretycznie nie zależy od miejsca zainstalowania pompy. Jednak przy ustalaniu miejsca zainstalowania pompy, należy [4] uwzględnić następujące czynniki:

- zjawisko kawitacji w rurociągach podsadzkowych,
- zjawisko kawitacji w pompie,
- lokalne warunki techniczne.

Po przeanalizowaniu powyższych czynników, można ustalić miejsce zainstalowania pompy.

5.1. Kawitacja w rurociągach podsadzkowych

Zjawisko kawitacji w rurociągach podsadzkowych wywiera niekorzystny wpływ na pracę instalacji. Obok działania niszczącego rurociągów, może ono spowodować przepływ mieszaniny podsadzkowej nie pełnym przekrojem przewodów rurowych. Może ono niejednokrotnie zostać częściowo bądź całkowicie wyeliminowane przez dobranie właściwego miejsca zainstalowania pompy wirowej. Zainstalowanie pompy wirowej może w zagrożonych odcinkach rurociągu podnieść ciśnienie tak dalece, że zlikwiduje to niebezpieczeństwo kawitacji. Sprawdzenia pewności pracy instalacji podsadzkowej na zjawisko kawitacji, można dokonać poprzez określenie wartości ciśnień lub wysokości ciśnień, na całej długości rurociągu. Warunkiem wyeliminowania zjawiska kawitacji jest spełnienie zależności:

$$\frac{p}{\gamma_m} > \frac{p_v}{\gamma_m} \tag{13}$$

gdzie:

p - ciśnienie w dowolnym przekroju,

p_v - ciśnienie pary nasyconej przy danej temperaturze,

γ_m - ciężar właściwy mieszaniny.

W praktyce należy dążyć, aby wartość ciśnienia na całej długości rurociągu była w każdym punkcie wyższa od ciśnienia otoczenia (wyeliminowanie zjawiska ssania). Ze względu na przybliżony charakter obliczeń zwiększa to pewność pracy instalacji. Zagadnienia te bliżej wyjaśniono w przykładzie liczbowym.

5.2. Kawitacja w pompie

Zjawisko kawitacji w pompie może zostać wywołane zwiększonymi oporami w przewodzie doprowadzającym, za dużą prędkością przepływu mieszaniny podsadzkowej, za niską wartością ciśnienia w króćcu do-

prowadzającym pompy; a w połączeniu z silnym erozyjnym działaniem mieszaniny podsadzkowej może wywierać niekorzystny wpływ na pracę pompy.

Warunkiem pewności pracy pompy ze względu na zjawisko kawitacji, jest spełnienie zależności:

$$\frac{p_s}{\gamma_m} > \frac{p_v}{\gamma_m} + \sigma_k \cdot H_p \tag{14}$$

gdzie:

p_s - ciśnienie w króćcu doprowadzającym pompy,

σ_k - współczynnik kawitacji właściwy dla danej pompy.

W praktyce jednak korzystnie jest, aby wartość ciśnienia w króćcu doprowadzającym pompy była utrzymana w granicach p_s = 1÷2 at. Polepsza to pewność pracy pompy.

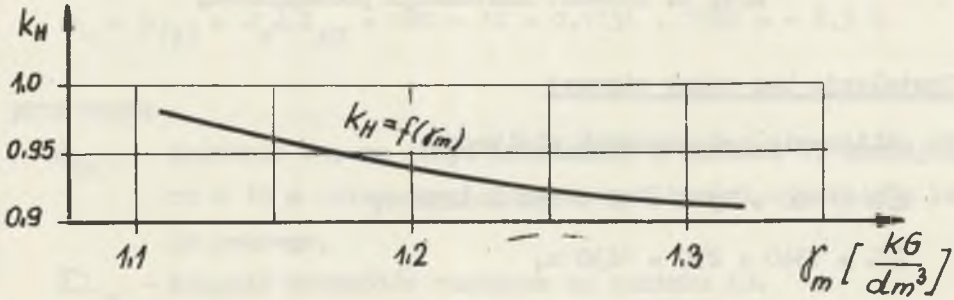
5.3. Lokalne warunki techniczne

Przy określaniu miejsca zabudowania pompy w instalacji podsadzkowej, należy uwzględnić szereg czynników konstrukcyjno-eksploatacyjnych. Kadłub pompy powinien posiadać odpowiednią wytrzymałość na ciśnienie, przy uwzględnieniu ponadto jego wycierania się w trakcie eksploatacji. W miejscu zainstalowania pompy konieczne jest uzyskanie czystej wody o odpowiednim ciśnieniu, do przemywania i doszczelniania dławnic, oraz doprowadzenie energii elektrycznej. Poza tym konieczne jest zabezpieczenie swobodnego dostępu do pompy i silnika, możliwość transportu itd.

6. Dobór pompy

Pierwszorzędne znaczenie przy projektowaniu instalacji podsadzkowych ma właściwy dobór pompy wirowej. Pompa wirowa obok odpowied-

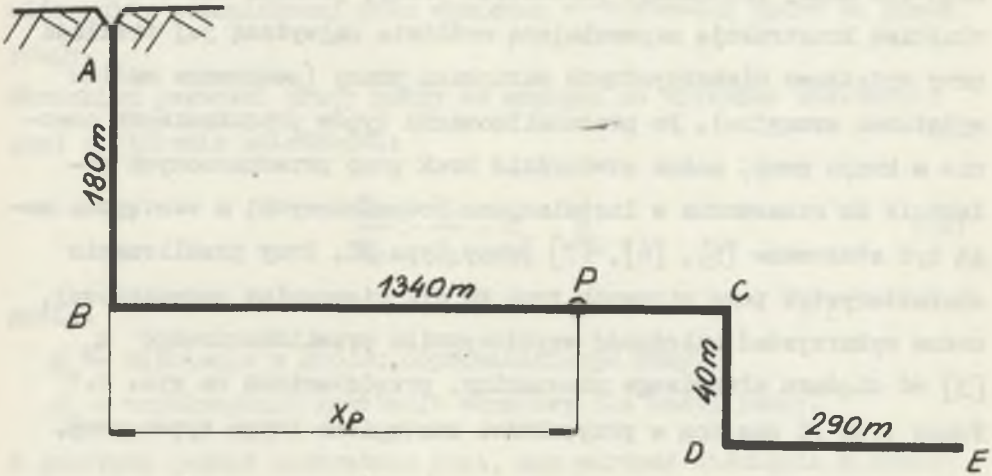
nich dla danej instalacji parametrów pracy, powinna odznaczać się właściwą konstrukcją zapewniającą możliwie najwyższą jej trwałość przy wyjątkowo niekorzystnych warunkach pracy (pompowane medium wyjątkowo erozyjne). Po przeanalizowaniu typów produkowanych obecnie w kraju pomp, można stwierdzić brak pomp przeznaczonych wyłącznie do stosowania w instalacjach podsadzkowych; a zastępczo mogą być stosowane [5], [6], [7] pompy typu PC. Przy przeliczaniu charakterystyk pomp wirowych typu PC dla mieszaniny podsadzkowej, można wykorzystać zależność współczynnika przeliczeniowego k_H [3] od ciężaru właściwego mieszaniny, przedstawioną na rys. 1. Pompy typu PC zostaną w przyszłości zastąpione innym typem pomp.



Rys. 1. Zależność współczynnika k_H od ciężaru właściwego mieszaniny podsadzkowej (dla pomp typu PC)

7. Przykład liczbowy

Przeanalizować wpływ zainstalowania pompy wirowej typu PC-150B w instalacji podsadzkowej przedstawionej na rys. 2, na wydajność i warunki pracy instalacji, oraz określić miejsce zainstalowania pompy. Charakterystykę przepływu pompy PC-150B odniesioną do wody czystej przedstawiono na rys. 3. Średnica przewodów rurowych wynosi d = 200 mm. Ciężar właściwy piasku γ_p = 1,6 kG/dm^3.



Rys. 2. Schemat instalacji podsadzkowej

Instalacja bez pompy wirowej

Po obliczeniu podstawowych wielkości:

$$\Sigma l = 180 + 1340 + 40 + 290 = 1850 \text{ m},$$

$$\Sigma L = 1340 + 290 = 1630 \text{ m},$$

$$H = 180 + 40 = 220 \text{ m},$$

z zależności (1) i (2) oblicza się:

$$J_s = \frac{H - 10}{\Sigma l} = \frac{220 - 10}{1850} = 0{,}1136$$

$$A_s = 1{,}3\,\frac{0{,}12\,\Sigma L - H}{\Sigma l} = 1{,}3\,\frac{0{,}12 \cdot 1630 - 220}{1850} = -0{,}0175$$

Ponieważ $\frac{A_s}{J_s} = \frac{-0{,}0175}{0{,}1136} < 0{,}78$, zatem najwłaściwsza wartość stosunku objętościowego wody do piasku wynosi w = 1.

Z zależności (5) i (11) obliczono

$$Q = 360\left(\frac{d}{150}\right)^{2,5}\sqrt{J_s - 0,6A_s} = 360\left(\frac{200}{150}\right)^{2,5}\sqrt{0,1136 + 0,6 \cdot 0,0175} =$$

$$= 260\ m^3/h$$

$$\dot{V}_p = \frac{Q}{1 + w} = \frac{260}{1 + 1} = 130,0\ m^3/h$$

W rozpatrywanej instalacji podsadzkowej najbardziej narażony na wystąpienie kawitacji jest punkt C.

Wysokość naporu mieszaniny w punkcie C - h_c, wyniesie:

$$h_c = H_{(c)} - J_s\Sigma l_{AC} = 180 - 10 - 0,1136 \cdot 1520 = -2,5\ m$$

przy czym:

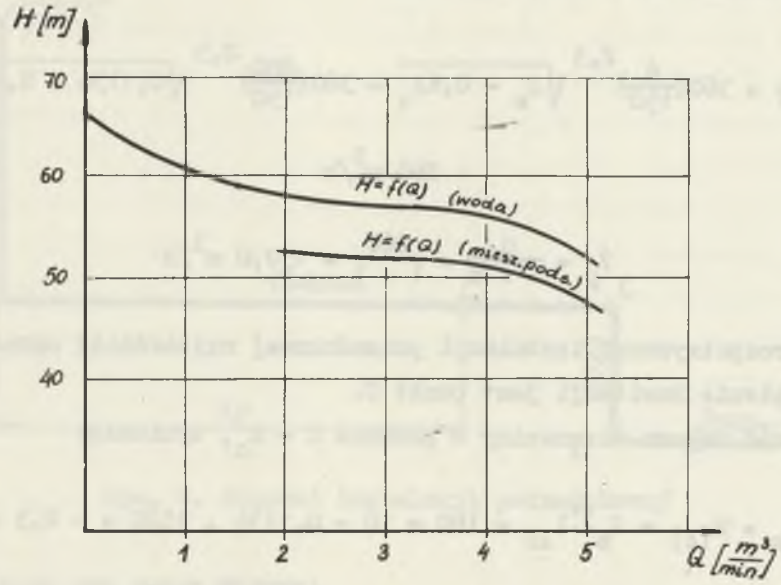
$H_{(c)}$ - wysokość naporu słupa mieszaniny w punkcie C, zmniejszona o 10 m celem uwzględnienia możliwości utworzenia leja ssącego,

Σl_{AC} - długość przewodów rurowych na odcinku AC.

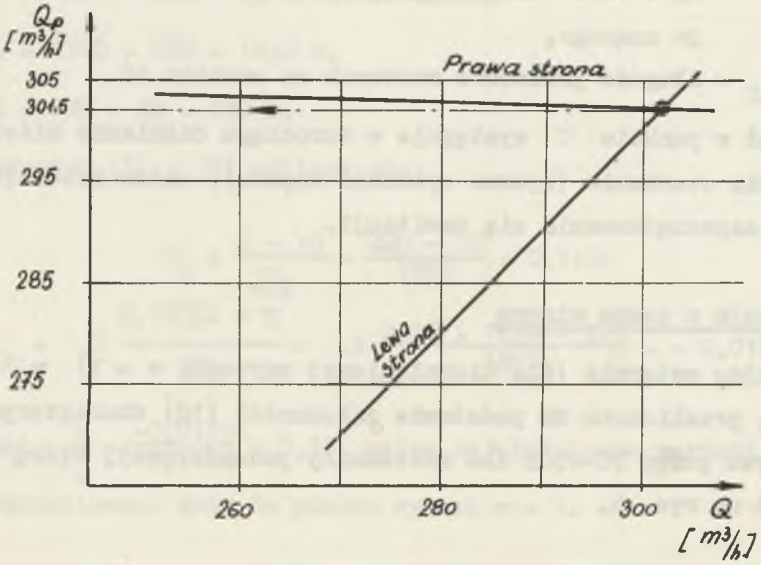
Ponieważ w punkcie C występuje w rurociągu ciśnienie niższe od ciśnienia otoczenia (ujemna wysokość naporu), zatem istnieje możliwość zapoczątkowania się kawitacji.

Instalacja z pompą wirową

Zakładając wstępnie (dla niezmienionej wartości w = 1) $\gamma_m = 1,3$ kG/dm^3, przeliczono na podstawie zależności (10) charakterystykę przepływu pompy PC-150B dla mieszaniny podsadzkowej, którą podano również na rys. 3.



Rys. 3. Charakterystyka przepływu pompy wirowej typu PC-150 B



Rys. 4. Metoda graficzna wyznaczenia wydajności instalacji podsadzkowej

Na podstawie zależności (9) uzyskano równanie

$$Q_p = 360\left(\frac{200}{150}\right)^{2,5}\sqrt{0,1136 + 0,6 \cdot 0,0175 + \frac{1,78}{1850} H_p}$$

którego graficzne rozwiązanie przedstawiono na rys. 4. Z rys. 4 odczytano wartość $Q_p = 301,5\ m^3/h$.
Odpowiadająca wartość H_p wyniesie $H_p = 47,3$ m.
Z zależności (6) i (7) obliczono:

$$J_{sp} = J_s + \frac{H_p}{\Sigma l} = 0,1136 + \frac{47,3}{1850} = 0,1392$$

$$A_{sp} = A_s - 1,3\frac{H_p}{\Sigma l} = -0,0175 - 1,3\frac{47,3}{1850} = -0,0507$$

Ponieważ $\frac{A_{sp}}{J_{sp}} = \frac{-0,0507}{0,1392} < 0,78$, zatem wartość w = 1 została wstępnie przyjęta poprawnie.
Zakładając, że pompa powinna być zainstalowana tak, aby wysokość napływu w króćcu doprowadzającym wynosiła $h_n = 15$ m, odległość x_p zainstalowania pompy (punkt P na rys. 2) od szybu wyniesie:

$$x_p = \frac{H_{(p)} - h_n}{J_{sp}} - \Sigma l_{AB} = \frac{180 - 10 - 15}{0,1392} - 180 = 932 \text{ m}$$

gdzie:

$H_{(p)}$ - wysokość naporu słupa mieszaniny w punkcie P, zmniejszona o 10 m celem uwzględnienia możliwości utworzenia leja ssącego,

Σl_{AB} - długość przewodów rurowych na odcinku AB.

W analizowanej instalacji podsadzkowej najbardziej zagrożony kwitacją jest punkt C.

Wysokość naporu mieszaniny h_c w punkcie C wyniesie:

$$h_c = H_{(c)} + H_p - J_{sp}\Sigma l_{AC} = 180 - 10 + 47,3 - 0,1392 \cdot 1520 = 5,5 \text{ m}$$

Zastosowanie pompy wirowej w instalacji podsadzkowej wyeliminowało możliwość wystąpienia zjawiska kawitacji w instalacji.
Z zależności (11) obliczono:

$$\dot{V}_p = \frac{Q_p}{1 + w} = \frac{301,5}{1 + 1} = 150,75 \text{ m}^3/\text{h}$$

Zastosowanie pompy wirowej wywołało wzrost wydajności instalacji o około 16%.

LITERATURA

[1] BUDRYK W. - Ruch podsadzki płynnej w rurociągach zamuleniowych, Praca doktorska, 1929.

[2] BUDRYK W. - Uproszczony sposób obliczania rurociągów podsadzkowych, Przegląd Górniczy, nr 1, 1949.

[3] PYKA J. - Pompa pancerna PC-150, Poradnik nr 131 ZKMPW, 1967.

[4] KOZAKIEWICZ S., STOCERZ S. - Zastosowanie pomp wirowych w instalacji podsadzkowej, Wiadomości Górnicze, nr 4, 1967.

[5] ZARZYCKI M. - Wyniki prac naukowo-badawczych i konstrukcyjnych oraz tendencje rozwojowe pompowego hydraulicznego transportu węgla, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Energetyka nr 25, Gliwice, 1967.

[6] ZARZYCKI M. - Pompy dla płuczek węgla, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Górnictwo nr 21, Gliwice, 1967.

[7] ZARZYCKI M. - Zagadnienie pomp w krajowym przemyśle węglowym, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Energetyka nr 27, Gliwice 1967/68.

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ПРИМЕНЕНИЯ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ В ЗАКЛАДЭЧНЫХ УСТРОЙСТВАХ

Р е з ю м е

Рассмотрено некоторые условия применения центробежных насосов в закладэчных устройствах. Выведено зависимость производительности устройства от высоты нагнятия насоса. Приведено численный пример.

SOME PROBLEMS RELATIVE TO APPLICATION OF CENTRIFUGAL PUMPS WORKING WITH SYSTEM OF HYDRAULIC FILLING

S u m m a r y

This paper contains a discussion of application of centrifugal pumps with system of hydraulic filling. In the present paper a interdependence is given between an actual discharge of system of hydraulic filling and a total head of the pumps.
Furthermore a numerical example was given.