POLSKA AKADEMIA NAUK
INSTYTUT MASZYN PRZEPŁYWOWYCH

PRACE INSTYTUTU MASZYN PRZEPŁYWOWYCH

TRANSACTIONS
OF THE INSTITUTE OF FLUID-FLOW MACHINERY

67-68

WARSZAWA—POZNAŃ 1975
PAŃSTWOWE WYDAWNICTWO NAUKOWE

PRACE INSTYTUTU MASZYN PRZEPŁYWOWYCH

poświęcone są publikacjom naukowym z zakresu teorii i badań doświadczalnych w dziedzinie mechaniki i termodynamiki przepływów, ze szczególnym uwzględnieniem problematyki maszyn przepływowych

*

THE TRANSACTIONS OF THE INSTITUTE OF FLUID-FLOW MACHINERY

exist for the publication of theoretical and experimental investigations of all aspects of the mechanics and thermodynamics of fluid-flow with special reference to fluid-flow machinery

KOMITET REDAKCYJNY – EXECUTIVE EDITORS
KAZIMIERZ STELLER – REDAKTOR – EDITOR
JERZY KOŁODKO · JÓZEF ŚMIGIELSKI
ANDRZEJ ŻABICKI

REDAKCJA – EDITORIAL OFFICE
Instytut Maszyn Przepływowych PAN,
80-952 Gdańsk, skr. pocztowa 621, ul. Gen. Józefa Fiszera 14, tel. 41-12-71

Copyright
by Państwowe Wydawnictwo Naukowe
Warszawa 1975

Printed in Poland

PAŃSTWOWE WYDAWNICTWO NAUKOWE – ODDZIAŁ W POZNANIU

Nakład 380+90 egz.	Oddano do składania 10 I 1975 r.
Ark. wyd. 28,5. Ark. druk. 22	Podpisano do druku 20 IX 1975 r.
Pap. druk. sat. kl. V, 70 g 70×100 cm	Druk ukończono we wrześniu 1975 r.
Nr zam. 112/77	R-17/661 Cena zł 86,–

DRUKARNIA UNIWERSYTETU im. A. MICKIEWICZA W POZNANIU

HYDROFORUM

KONFERENCJA NAUKOWO-TECHNICZNA

na temat

WSPÓŁCZESNE PROBLEMY BADAŃ
I EKSPLOATACJI MASZYN HYDRAULICZNYCH

Gdańsk, 3 - 5 października 1973 r.

*

HYDROFORUM

SCIENTIFIC-TECHNICAL CONFERENCE

on

MODERN PROBLEMS OF RESEARCH AND
UTILIZATION OF HYDRAULIC MACHINES

Gdańsk, October 3 - 5, 1973

*

ГИДРОФОРУМ

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

на тему

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ИССЛЕДОВАНИЙ
И ЭКСПЛУАТАЦИИ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ МАШИН

г. Гданьск, 3 - 5 октября 1973 г.

PRACE INSTYTUTU MASZYN PRZEPŁYWOWYCH
1975 Zeszyt 67 - 78

EUGENIUSZ DRAGA

Warszawa*

Charakterystyki regulacyjne sprzęgła hydrokinetycznego SH-512a jako elementu nastawczego układu regulacji zasilania kotła energetycznego OP-650k

1. Wprowadzenie

Praktyka eksploatacji bloków energetycznych wskazuje, że podstawowe trudności, nie tylko przy uruchamianiu układów regulacji automatycznej, ale także przy sterowaniu procesami cieplnymi, związane są z nieprawidłowym doborem własności regulacyjnych urządzeń pomocniczych i urządzeń wykonawczych, a ściślej, ich części składowych – elementów nastawczych.

Wybrane nieprawidłowo elementy nastawcze mogą na tyle zniekształcić charakterystykę obiektu, że nawet najbardziej starannie dobrane układy regulacji, z punktu widzenia struktur bądź nastaw dynamicznych, będą praktycznie niesprawne.

Rozważania nad doborem elementu nastawczego należy rozpocząć zawsze od analizy obwodu przepływu strumienia (materiału lub energii), który ma być sterowany. Jeżeli element nastawczy wpływa na obiekt za pośrednictwem położenia lub prędkości ruchu, musi on być połączony z odpowiednim elementem napędowym. Wielkością wejściową elementu nastawczego jest zwykle liniowe lub kątowe przemieszczenie dźwigni sterującej. Zależność strumienia, na który oddziaływa element nastawczy, od położenia dźwigni sterującej, nosi nazwę charakterystyki regulacyjnej tego elementu nastawczego. Rozróżniamy dwa rodzaje charakterystyk regulacyjnych:

1) charakterystykę konstrukcyjno-regulacyjną, stanowiącą zbiór krzywych, z których każda zdjęta jest przy określonej wartości parametru zewnętrznego,

2) charakterystykę roboczą, stanowiącą zależność strumienia od położenia dźwigni sterującej, zdjętą w warunkach eksploatacyjnych.

Jednym z podstawowych elementów nastawczych bloku energetycznego jest sprzęgło hydrokinetyczne. Urządzenie to znalazło w naszych elektrowniach zastosowanie głównie do regulacji wydajności pomp zasilających.

---

* Instytut Energetyki.

2. Opis układu regulacji zasilania kotła energetycznego typ OP-650k i warunków pracy zespołu sprzęgło-pompa

Na rys. 1 przedstawiono uproszczony schemat układu zasilania kotła typu OP-650k. W czasie pracy kotła z obciążeniem nominalnym, w układzie włączone są równolegle dwie pompy *PWZ*, a trzecia znajduje się w rezerwie.

Woda zasilająca Q na drodze do walczaka podgrzewa się w podgrzewaczu konwekcyjnym *ECO* i podgrzewaczach regeneracyjnych *PWC*. Natężenie przepływu wody Q reguluje się przez odpowiednie sterowanie sprzęgłami *SP* i zaworem rozruchowym *ZR*, znajdującym się na obejściu głównej zasuwy wodnej *ZS*.

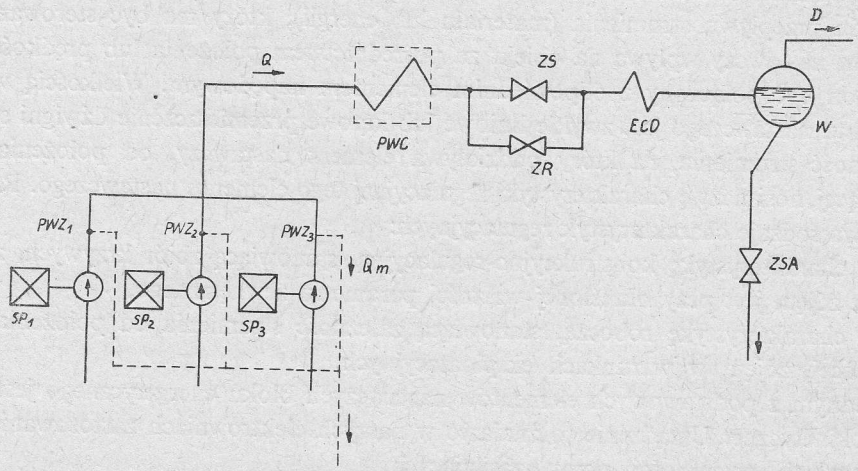
Z ekonomicznego punktu widzenia sterowanie natężeniem przepływu wody należy przeprowadzać poprzez zmianę liczby obrotów pomp zasilających, jednak sprzęgło hydrokinetyczne może być elementem nastawczym w układzie regulacji zasilania wyłącznie powyżej pewnego obciążenia kotła. Widać to bezpośrednio z rys. 2, na którym przedstawiona jest zależność współczynnika wzmocnienia pomp zasilających od natężenia przepływu wody

$$k_p \cong \frac{\Delta Q}{\Delta n} = f(Q), \tag{1}$$

otrzymana na podstawie danych charakterystyk pomp

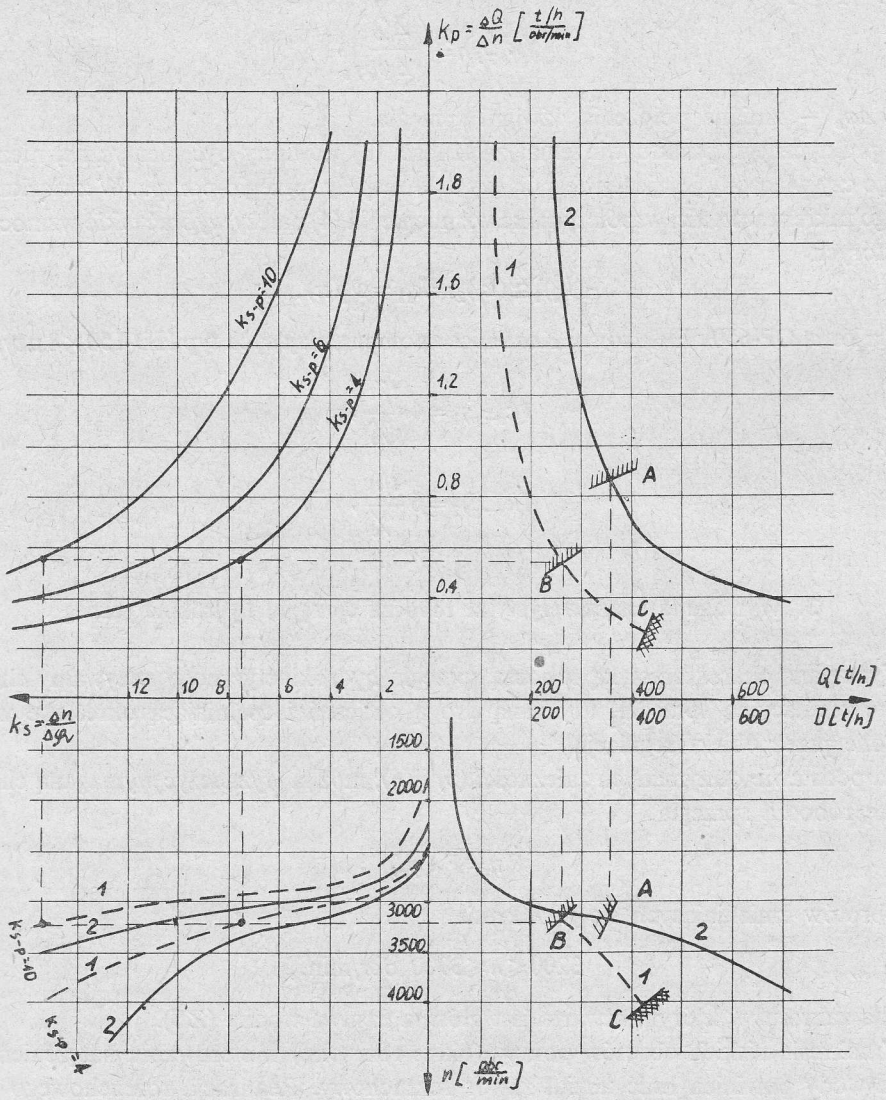
$$p_t = f(Q, n), \tag{2}$$

gdzie p_t – ciśnienie na tłoczeniu pompy, n – liczba obrotów, oraz krzywej oporu hydraulicznego kotła [1]. Przy zmniejszaniu obciążenia, zaczynając od natężenia przepływu $Q \leqslant Q_1 = 250$ t/h – dla jednej pompy i $Q \leqslant Q_2 = 350$ t/h – dla dwóch pomp, współczynnik wzmocnienia k_p rośnie nieograniczenie i sterowanie przepływem wody do kotła staje się utrudnione.



Rys. 1. Uproszczony schemat układu zasilania kotła OP-650k

SP – sprzęgło hydrokinetyczne, *PWZ* – pompa wody zasilającej, *PWC* – regeneracyjny podgrzewacz wody, *ECO* – konwekcyjny podgrzewacz wody, *W* – walczak, *ZR*, *ZSA* – zawór rozruchowy i zawór spustowy, *ZS* – zasuwa wodna, Q, Q_m, D – natężenia przepływów wody do kotła i przez zawór minimalnego przepływu pompy oraz natężenie przepływu pary z kotła



Rys. 2. Sposób graficzny wyznaczenia zależności współczynnika wzmocnienia sprzęgła od obrotów pompy dla zakresu $3100 \leqslant n \leqslant 3900$ obr/min

1 – jedna pompa, *2* – dwie pompy pracujące równolegle, *A*, *B*, *C* – ograniczenia zakresu pracy pomp

Na rys. 2 przedstawiono również zależności współczynnika wzmocnienia sprzęgła od obrotów pompy

$$(k_s)_i \cong \left(\frac{\Delta n}{\Delta \varphi_v}\right)_i = F_i(h), \tag{3}$$

które wymagane są dla zachowania stałej wartości współczynnika wzmocnienia zespołu

sprzęgło-pompa:

$$(k_{s-p})_i \cong \left(\frac{\Delta Q}{\Delta \varphi_v}\right)_i, \tag{4}$$

gdzie $\Delta\varphi_v$ – zmiana położenia dźwigni sprzęgła.

Z praktycznego punktu widzenia, zależności (3) powinny być identyczne, niezależnie od tego czy włączony jest jeden zespół, czy dwa zespoły sprzęgło-pompa. W związku z tym, z całego zakresu wartości współczynnika wzmocnienia (4) należy wybrać takie wzmocnienia, dla których

$$(k_s)_1 \cong (k_s)_2 = k_{s1} = \Phi_1(n). \tag{5}$$

Dla kotła OP-650k Elektrowni Kozienice i pomp zasilających typ HD-150×8 uzyskamy:

$$(k_{s-p})_1 = 4\,\frac{t/h}{\%}, \qquad (k_{s-p})_2 = 6\,\frac{t/h}{\%}. \tag{6}$$

3. Wymagana charakterystyka robocza sprzęgła hydrokinetycznego

Wymaganą charakterystyką roboczą sprzęgła hydrokinetycznego nazywamy charakterystykę regulacyjną sprzęgła, uzyskaną drogą obliczeń i spełniającą określone warunki nałożone przez obiekt regulacji.

Na podstawie otrzymanych zależności (5) i (6), można wyznaczyć wymaganą charakterystykę roboczą sprzęgła

$$n = F_1(\varphi_v) \tag{7}$$

dla obrotów zmieniających się w zakresie

$$3200 \leqslant n \leqslant 3900 \text{ obr/min.}, \tag{8}$$

tzn. dla zakresu, w którym otwarta jest główna zasuwa wodna (*ZS*).

W zakresie niskich obrotów pompy (okres rozruchu) w sterowaniu natężeniem przepływu wody powinien brać udział zawór rozruchowy. Realizacja rozruchowego układu regulacji, w którym przepływ wody do kotła reguluje zawór rozruchowy przy stałych obrotach pompy jest niewskazana, ponieważ wiąże się to z dużymi stratami i szybkim zużywaniem się zaworu. Z tego też powodu konieczne jest przeprowadzenie analizy układu, w którym sprzęgło hydrokinetyczne współpracuje równolegle z zaworem rozruchowym.

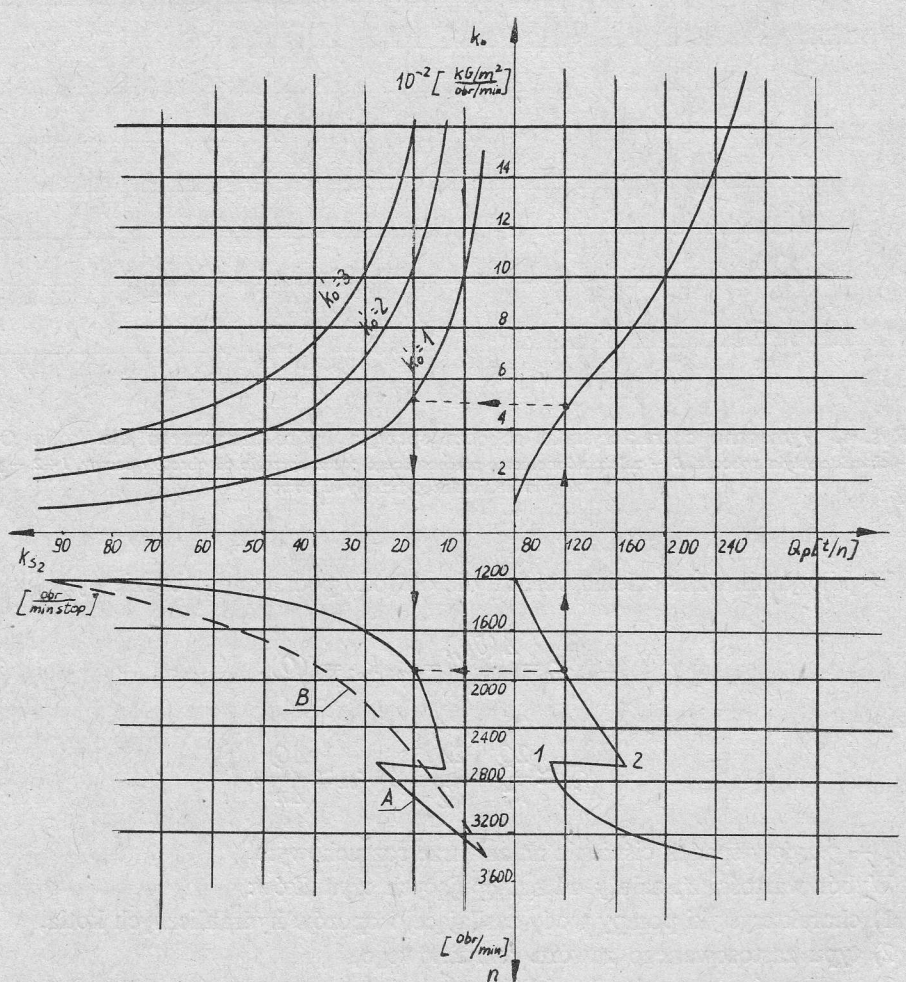
W celu wyznaczenia charakterystyki regulacyjnej sprzęgła dla zakresu, w którym współpracuje ono z zaworem rozruchowym, należy znać charakterystykę tego zaworu oraz strukturę rozruchowego układu regulacji poziomu wody w walczaku. Na podstawie badań modelowych układów rozruchowych [2] wynika, że dla rozruchowego układu regulacji poziomu wody w walczaku najwygodniej jest zastosować strukturę, w której głównym elementem nastawczym jest zawór rozruchowy, a sprzęgło hydrokinetyczne włączone jest w obwód podrzędny, utrzymujący stały spadek ciśnienia na zaworze rozruchowym.

Spadek ciśnienia na zaworze rozruchowym można wyrazić następującym wzorem:

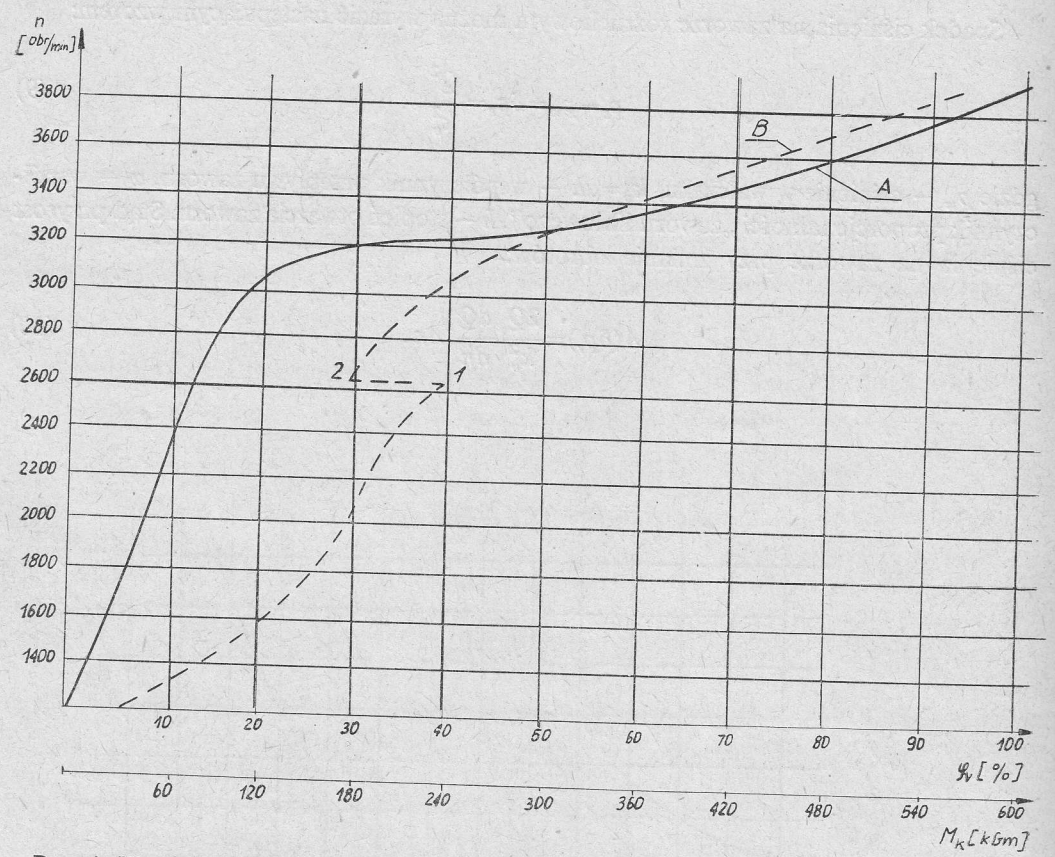
$$p_t - p_w = \delta p_r = \frac{Q^2}{k_v^2}, \tag{9}$$

gdzie p_w – ciśnienie w walczaku, $k_v = \alpha h$ – współczynnik przepływu zaworu, α – współczynnik proporcjonalności „zaworu liniowego", h – stopień otwarcia zaworu. Stąd przyrost ciśnienia na zaworze przy zmianie obrotów:

$$\Delta(\delta p_r) = \frac{2Q}{k_v^2}\frac{dQ}{dn}\Delta n. \tag{10}$$



Rys. 3. Metoda wyznaczania współczynnika wzmocnienia sprzęgła dla zakresu rozruchowego
A – zależność wymagana, *B* – zależność uśredniania, Q_p – natężenie przepływu wody przez pompę, *1 ÷ 2* – przełączenie zaworu minimalnego przepływu



Rys. 4. Wymagana charakterystyka robocza sprzęgła hydrokinetycznego dla kotła OP-650k
A – charakterystyka robocza, *B* – zależność momentu przenoszonego przez sprzęgło od obrotów pompy, *1*÷*2* – przełączenie zaworu minimalnego przepływu pompy

Współczynnik wzmocnienia obiektu dla obwodu podrzędnego będzie wynosił:

$$k_o = \frac{\Delta(\delta p_r)}{\Delta n} = k_{o1}\, k_{o2} = f(Q), \tag{11}$$

gdzie

$$k_{o1} \cong \frac{2Q}{k_v^2} = \frac{2\Delta_r}{Q}, \qquad k_{o2} \cong \frac{\Delta Q}{\Delta n}, \tag{12}$$

a Δ_r – przyjęty spadek ciśnienia na zaworze rozruchowym.

Wybór wartości Δ_r zależy od następujących czynników:

1) charakterystyki pompy wody zasilającej i oporów hydraulicznych kotła,
2) typu zastosowanego zaworu rozruchowego,
3) wymagań w stosunku do układu regulacji temperatury pary.

Jeżeli założymy, że w przypadku kotła OP-650k zasuwa będzie otwierana przy obciążeniach $Q = 260 \div 270$ t/h, to dla zaworu rozruchowego z $k_v = 70$ t/h uzyskamy $\Delta_r \approx 15$ kG/cm².

Stąd po podstawieniu Δ_r do wzoru (12) uzyskamy:

$$k_{o1} = \frac{30}{Q}. \tag{13}$$

Z praktycznego punktu widzenia charakterystykę roboczą sprzęgła dla zakresu rozruchowego

$$n = F_2(\varphi_v) \tag{14}$$

wybiera się w taki sposób, żeby współczynnik wzmocnienia zespołu: sprzęgło-obiekt był niezależny od obciążenia:

$$k_{s-o} = k_{s2} \cdot k_o = \frac{\Delta(\delta p_r)}{\Delta \varphi_v} = \text{const}. \tag{15}$$

Na rys. 3 przedstawiono graficzny sposób wyznaczenia współczynnika wzmocnienia sprzęgła

$$k_{s2} = \Phi_2(n) \tag{16}$$

dla kotła OP-650k oraz pompy HD-150×8 i zaworu rozruchowego przy $k_v = 70$ t/h.

Na podstawie otrzymanych zależności (5) i (16) wyznacza się wymaganą charakterystykę roboczą sprzęgła dla całego zakresu pracy:

$$n = F(\varphi_v). \tag{17}$$

Charakterystykę tę zamieszczono na rys. 4 wraz z krzywą momentu obciążenia pompy

$$M_0 = f(n), \tag{18}$$

dla którego ona musi być spełniana.

4. Metoda korekcji charakterystyki regulacyjnej sprzęgła hydrokinetycznego

Każde sprzęgło hydrokinetyczne możemy rozdzielić umownie na dwie części zasadnicze oraz układ regulacji napełnienia.

Charakterystyka regulacyjna sprzęgła zasadniczego jest zarazem charakterystyką konstrukcyjną danego sprzęgła hydrokinetycznego:

$$n = f(H, M_k), \tag{19}$$

gdzie H – położenie rurki czerpakowej, M_k – moment przenoszony przez sprzęgło.

Charakterystyką układu regulacji napełnienia nazywamy zależność położenia rurki czerpakowej (H) od przestawienia dźwigni sterującej sprzęgła (φ_v):

$$H = f(\varphi_v). \tag{20}$$

Dla uzyskania wymaganej charakterystyki roboczej w przypadku konkretnego sprzęgła, należy [3]:

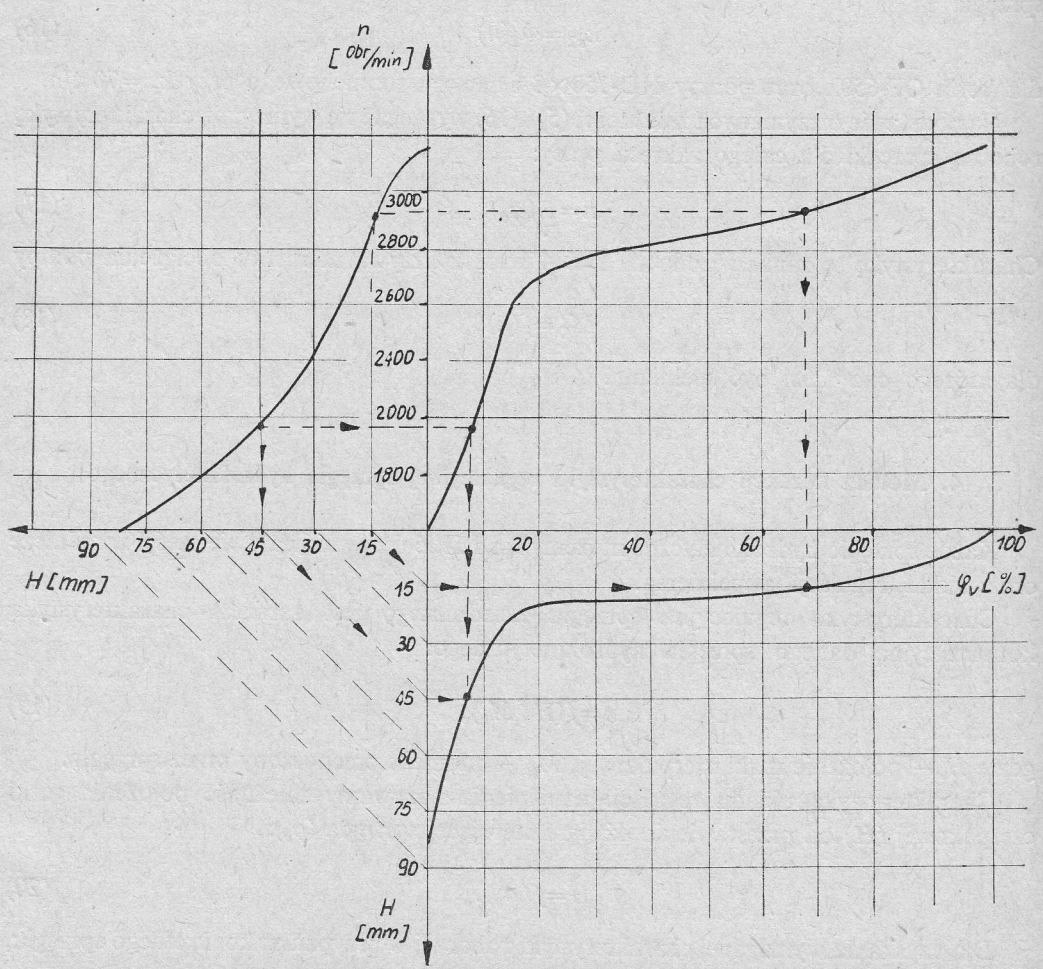
1) na podstawie jego charakterystyki konstrukcyjnej (19) oraz momentu obciążającego pompy (18), wyznaczyć zależność

$$n=f(H), \tag{21}$$

2) na podstawie wymaganej charakterystyki roboczej (17) oraz zależności (21) wyznaczyć charakterystykę układu regulacji napełnienia (20).

Jak widać z powyższego, zmianę charakterystyki regulacyjnej sprzęgła możemy uzyskać drogą odpowiedniej korekcji charakterystyki układu regulacji napełnienia. Zależność (20) realizuje się za pomocą odpowiednio zaprofilowanej krzywki, która znajduje się w układzie regulacji napełnienia. Stąd wynika, że krzywka ta powinna być elementem wymiennym sprzęgła hydrokinetycznego, a jej kształt należy dobierać w zależności od charakterystyki konkretnego kotła i pomp wody zasilającej.

Na rys. 5 przedstawiono, dla przykładu, metodę graficznego wyznaczenia charakterystyki układu regulacji napełnienia sprzęgła SH-512a, przeznaczonego dla układu regulacji zasilania kotła OP-650k z pompami HD-150×8.



Rys. 5. Metoda wyznaczenia charakterystyki układu napełnienia sprzęgła SH-512a

Literatura

[1] E. Draga, J. Stelmach, *Analiza pracy sprzęgła hydrokinetycznego typu Voith w układzie regulacji zasilania bloku 200 MW El. Łaziska II i El. Rybnik*. Praca IEn., nr ewid. 8196, Warszawa 1970.

[2] E. Draga, J. Stelmach, *Rozruchowy układ automatycznej regulacji zasilania kotła OP-650k*. Praca IEn. nr ewid. 8967, Warszawa 1971.

[3] E. Draga, M. Duda, J. Kalbarczyk, *Badania sprzęgieł hydrokinetycznych typ SH-512a w El. Pątnów*. Praca IEn. nr ewid. 9740, Warszawa 1973.

Control Characteristics of a SH-512a Fluid Coupling Used as Adjusting Component in a Feed Control System of the OP-650k Power Boiler

Summary

An analysis of operating conditions of a fluid coupling operating in the power boiler feed control system was made since firing up of the boiler till full load conditions. The operating range of the coupling was divided into two parts, which are: the low speed range (1200 - 3200 r.p.m.) where the starting valve is the main controlling device, the coupling being then engaged in the secondary importance loop for keeping a constant pressure drop in the valve, the high speed range (3200 - 3900 r.p.m.) where the coupling serves as the main controlling device. A method for determining the required operating characteristic of the coupling $n=F(\varphi_v)$ was presented for the both ranges. Also a method for adjusting the control characteristic of the coupling to the required operating characteristic for a given boiler feed system is described for these both ranges. The method is illustrated with an example of characteristics of the SH-512a coupling operating in the feed system of the OP-650k power boiler.

Регуляционные характеристики гидрокинетической мифты SH-512a, являющейся установочным элементом системы регулирования питания энергетического котла OP-650k

Резюме

Проводится анализ условий работы гидрокинетической муфты в системе регулирования питания энергетического блока с момента розжига до полной нагрузки котла. Диапазон работы муфты разделяется на две части: предел низких оборотов (1200 - 3200 об/мин), в котором главным регулирующим органом является пусковой клапан, а муфта включена в подчиненный контур, удерживающий постоянный перепад давления в клапане, и предел высоких оборотов (3200 - 3900 об/мин), в котором муфта является главным регулирующим органом. Для обоих пределов представлены метод определения требуемой рабочей характеристики муфты $n=F(\varphi_v)$ и метод приспособления рабочей характеристики для конкретной системы питания котла. Метод иллюстрируется на примере характеристик муфты SH-512a, работающей в системе питания котла OP-650k.