

JERZY ROKITA

Katedra Pomp i Silników Wodnych

O MOŻLIWOŚCI OKREŚLENIA SPRAWNOŚCI
UKŁADÓW POMPOWYCH SSĄCO-TŁOCZĄCYCH

Streszczenie. Podano definicje sprawności eksploatacyjnej i rzeczywistej układu pompowego. Wyprowadzono odpowiednie wzory. Wskazano czynniki wpływające na zwiększenie sprawności układu pompowego.

Wstęp

Jednym z podstawowych wskaźników charakteryzujących działanie układu pompowego ssąco-tłoczącego jest jego sprawność. Wielkość sprawności układu pompowego, uzależniona od warunków pracy układu, umożliwia dokonanie porównania między pracą różnych układów pompowych. Na wartość sprawności układu pompowego ma wpływ sprawność pompy, sprawność silnika napędzającego oraz sprawność instalacji pompowej (przewodów rurowych). Wielkość strat energetycznych występujących w poszczególnych częściach składowych układu pompowego, zależy od warunków pracy układu i może być w pewnych granicach zmieniana przy jego prowadzeniu.

Dla układu pompowego należy określić takie warunki pracy, które zapewniłyby (przy wymaganych parametrach pracy układu) możliwie najwyższą jego sprawność.

Na uzyskanie wysokiej sprawności układu pompowego zasadniczy wpływ ma prawidłowy dobór pompy i silnika napędzającego oraz poprawność projektowania instalacji pompowej.

Przeprowadzenie jednak analizy warunków pracy układu pompowego oraz dobór właściwej pompy, związane jest z koniecznością określenia jego sprawności w zależności od wydajności układu. Jednakże sprawność nawet tego samego układu pompowego może być określana w różny sposób, zależnie od przyjętych kryteriów porównawczych.

Poniższe rozważania stanowią próbę ujęcia tego zagadnienia w odniesieniu do układów pompowych ssąco-tłoczących, pracujących przy stałej statycznej wysokości podnoszenia. Rozważania przeprowadzono przy założeniu, że w układzie pompowym zainstalowana jest pompa wirowa napędzana silnikiem elektrycznym.

1. Charakterystyka układu pompowego

Charakterystyka układu pompowego składa się z charakterystyki pompy $H = f(Q)$, (zależność między użyteczną wysokością podnoszenia pompy a wydajnością) oraz z charakterystyki instalacji pompowej $H_r = f(Q)$, (zależność między wysokością podnoszenia potrzebną do wywołania przepływu cieczy o określonym natężeniu przepływu w instalacji pompowej a wydajnością).

Charakterystyka układu pompowego jest zwykle przedstawiana graficznie. Punkt przecięcia się obu krzywych przedstawiających zależności $H = f(Q)$ i $H_r = f(Q)$ jest punktem pracy układu pompowego. Współrzędne tego punktu określają parametry pracy pompy pracującej w układzie. Typowy układ pompy ssąco-tłoczący oraz jego charakterystykę przedstawiono na rys. 1 i rys. 2.

2. Analityczne określenie charakterystyki instalacji pompowej

Charakterystyka instalacji pompowej może być analitycznie opisana [1] następującą zależnością:

$$H_r = H_{st} + H_{dy} \quad (1)$$

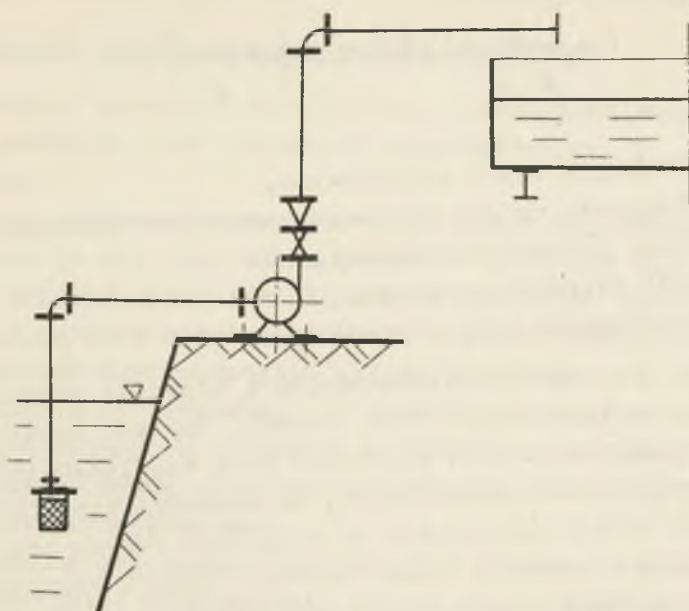
gdzie:

H_{st} - statyczna wysokość podnoszenia układu pompowego,

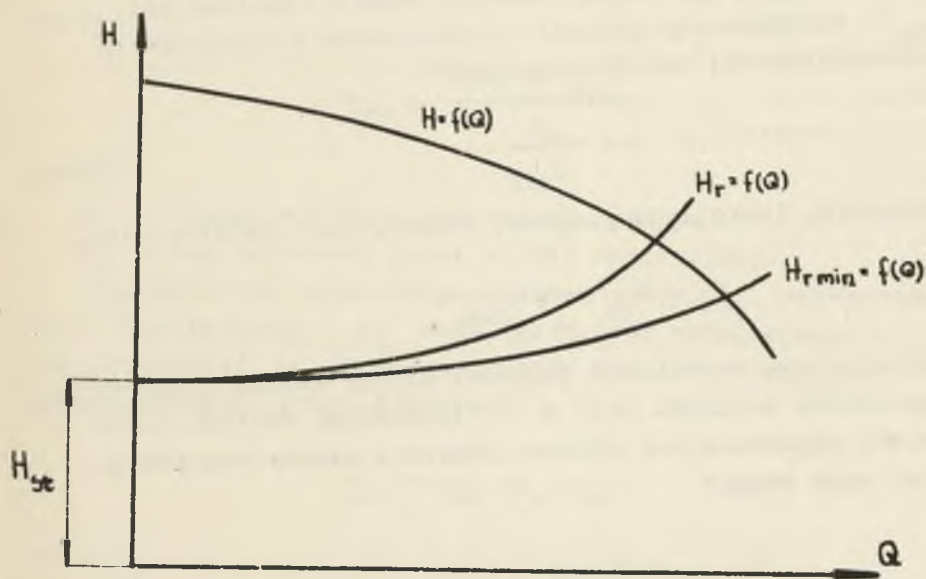
H_{dy} - dynamiczna wysokość podnoszenia układu pompowego.

Dynamiczną wysokość podnoszenia układu pompowego można z dobrym przybliżeniem określić wzorem:

$$H_{dy} = cQ^2 \quad (2)$$



Rys. 1. Schemat układu pompowego ssąco-tłoczącego



Rys. 2. Charakterystyka układu pompowego ssąco-tłoczącego

przy czym:

$$C = \frac{8}{\pi^2 g} \left[\sum (\sum \xi + \lambda \frac{l}{d}) \frac{1}{d^4} \right] \quad (3)$$

gdzie:

- ξ - współczynnik strat miejscowych,
- λ - współczynnik oporów liniowych przewodów rurowych,
- d - średnica przewodów rurowych,
- l - długość przewodu rurowego,
- g - przyspieszenie siły ciężkości.

Przyjmując, że wartość współczynnika λ niewiele zmienia się w zakresie pracy układu ($\lambda \approx \text{const}$), wartość współczynnika C jest uzależniona od wielkości sumy współczynników strat miejscowych. Zakładając dalej, że wartości wszystkich współczynników strat miejscowych (z wyjątkiem zasowy regulacyjnej) są stałe w zakresie pracy układu, wartość współczynnika C jest zależna od wartości współczynnika strat miejscowych w zasowie regulacyjnej, który zależy od stopnia otwarcia zasowy. Współczynnik C osiąga dla danego układu pompowego wartość minimalną przy pełnym otwarciu zasowy regulacyjnej ($C = C_{\min}$). Wprowadzając pojęcie współczynnika ψ zwiększenia strat hydraulicznych, określonego jako:

$$\psi = \frac{C}{C_{\min}} \quad (4)$$

charakterystykę instalacji pompowej można opisać zależnością:

$$H_r = H_{st} + \psi C_{\min} Q^2 \quad (5)$$

Charakterystyka instalacji pompowej danego układu pompowego osiąga minimalne wartości przy $\psi = 1$ (minimalna wartość współczynnika ψ , odpowiadająca pełnemu otwarciu zasowy regulacyjnej), przy czym wtedy:

$$H_{r \min} = H_{st} + C_{\min} Q^2 \quad (6)$$

3. Sprawność eksploatacyjna układu pompowego

Stosowanym w praktyce wskaźnikiem charakteryzującym pracę układu pompowego jest sprawność eksploatacyjna η_{eu} układu pompowego.

Przy określaniu sprawności eksploatacyjnej układu pompowego porównuje się dany układ pompowy z podobnym układem, pozbawionym ewentualnych strat dławienia przepływu cieczy zasuwą regulacyjną oraz strat w pompie i silniku napędzającym.

Sprawność eksploatacyjna układu pompowego jest stosunkiem minimalnej mocy potrzebnej do wywołania przepływu cieczy o określonym natężeniu przepływu w instalacji pompowej, przy pełnym otwarciu zasuwy regulacyjnej, do mocy faktycznie pobieranej przez silnik napędzający.

Minimalna moc wywołująca przepływ cieczy w instalacji pompowej powoduje: podniesienie cieczy na wysokość równą statycznej wysokości podnoszenia układu pompowego i pokonanie strat hydraulicznych przepływu cieczy w przewodach rurowych.

Sprawność eksploatacyjną układu pompowego można określić wzorem:

$$\eta_{eu} = \frac{Q \gamma H_r \text{ min}}{N_s} \quad (7)$$

gdzie:

γ - ciężar właściwy pompowanej cieczy,

N_s - moc pobierana przez silnik napędzający.

Uwzględniając pojęcia: sprawności pompy η_p , sprawności silnika napędzającego η_s oraz sprawności eksploatacyjnej instalacji pompowej η_{er} , można sprawność eksploatacyjną układu pompowego określić również wzorem:

$$\eta_{eu} = \eta_{er} \eta_p \eta_s \quad (8)$$

gdzie:

$$\eta_{er} = \frac{H_r \text{ min}}{H} \quad (9)$$

Zakładając, że charakterystyka pompy zainstalowanej w układzie może być opisana równaniem:

$$H = H_0 + BQ + AQ^2 \quad (10)$$

gdzie:

H_0 , B , A - stałe charakterystyczne dla danej pompy, można określić zależność sprawności eksploatacyjnej instalacji pompowej od wydajności:

$$\eta_{er} = \frac{H_{st} + C_{min} Q^2}{H_0 + BQ + AQ^2} \quad (11)$$

Z zależności (11) wynika, że zasadniczy wpływ na charakter zależności $\eta_{er} = f(Q)$, mają nie tylko wielkości dotyczące instalacji pompowej, ale również kształt charakterystyki pompy zainstalowanej w układzie.

Sprawność eksploatacyjna instalacji pompowej osiąga maksymalną wartość (równą jedności), przy pracy pompy przy całkowicie otwartej zasuwie regulacyjnej. Równocześnie wtedy układ osiąga maksymalną wydajność. Osiągnięcie mniejszych wydajności jest wywołane przez dławienie przepływu cieczy zasuwą regulacyjną. Dławienie przepływu cieczy wywołuje straty mocy i powoduje obniżenie się wartości η_{er} .

Wielkość ΔN_d straty mocy wskutek dławienia przepływu, można określić wzorem:

$$\Delta N_d = (1 - \eta_{er}) Q \gamma H \quad (12)$$

lub

$$\Delta N_d = (\psi - 1) C_{min} \gamma Q^3 \quad (13)$$

Uwzględniając zależności $\eta_p = f(Q)$ i $\eta_s = f(Q)$ po równoczesnym wykorzystaniu związków (8) i (11), można wyznaczyć zależność sprawności eksploatacyjnej układu pompowego od wydajności.

Sprawność eksploatacyjna układu pompowego może osiągnąć wartość maksymalną równą maksymalnej wartości sprawności zespołu pompowego (przy czym sprawność zespołu pompowego jest iloczynem sprawności pompy i silnika napędzającego). Następuje to w przypadku, gdy maksymalna wydajność układu pompowego jest równa wydajności odpowiadającej maksymalnej sprawności zespołu pompowego. Jest to jednocześnie jeden z warunków prawidłowego doboru pompy do układu pompowego.

Na wartość sprawności eksploatacyjnej układu pompowego ma wpływ prawidłowy dobór pompy i silnika elektrycznego, ich sprawności oraz sposób prowadzenia układu (ewentualna regulacja wydajności przez dławienie). Wartość sprawności eksploatacyjnej układu nie jest natomiast bezpośrednio zależna od występujących w instalacji pompowej strat energetycznych. Można wskazać przypadki, w których z dwóch układów pompowych pracujących przy tej samej wartości sprawności eksploatacyjnej układu przy pełnym otwarciu zasuw regulacyjnej, w jednym występować będą zdecydowanie większe straty hydrauliczne przepływu cieczy w instalacji pompowej. Dlatego też sprawność eksploatacyjna układu pompowego nie może służyć do obiektywnej oceny i porównywania układów pompowych.

4. Sprawność rzeczywista układu pompowego

Wskaźnikiem bezwymiarowym charakteryzującym pracę układu pompowego ssąco-tłoczącego oraz umożliwiającym porównywanie układów pompowych jest sprawność rzeczywista η_u układu pompowego.

Przy określaniu sprawności rzeczywistej układu pompowego, porównuje się dany układ pompowy z podobnym układem, pozbawionym wszelkich strat energetycznych.

Sprawność rzeczywista układu pompowego jest stosunkiem mocy potrzebnej do spowodowania przepływu cieczy przy określonym natężeniu przepływu bez strat energetycznych, na wysokość równą statycznej wysokości podnoszenia układu pompowego, do mocy faktycznie pobieranej przez silnik napędzający.

Sprawność rzeczywistą układu pompowego określa wzór:

$$\eta_u = \frac{Q \gamma H_{st}}{N_s} \quad (14)$$

Wykorzystując pojęcia: sprawności pompy, sprawności silnika napędzającego oraz sprawności instalacji pompowej η_r , można sprawność rzeczywistą układu pompowego określić również wzorem:

$$\eta_u = \eta_r \eta_p \eta_s \quad (15)$$

gdzie:

$$\eta_r = \frac{H_{st}}{H} \quad (16)$$

Zakładając ponownie, że charakterystyka pompy może być opisana zależnością (10), można określić zależność sprawności instalacji pompowej od wydajności:

$$\eta_r = \frac{H_{st}}{H_0 + BQ + AQ^2} \quad (17)$$

Zasadniczy wpływ na charakter zależności $\eta_r = f(Q)$, obok wielkości dotyczących układu pompowego, ma kształt charakterystyki pompy pracującej w układzie.

Sprawność η_r osiąga maksymalną wartość w zakresie pracy układu, przy pełnym otwarciu zasuw regulacyjnej, zawsze jednak $\eta_r \leq 1$.

Po uwzględnieniu zależności $\eta_p = f(Q)$ i $\eta_s = f(Q)$, można, wykorzystując związki (15) i (17) wyznaczyć zależność sprawności rzeczywistej układu pompowego od wydajności. Układ pompy powinien pracować przy wydajności odpowiadającej największej wartości sprawności rzeczywistej układu w zakresie pracy, co odpowiada zwykle pracy układu przy pełnym otwarciu zasuw regulacyjnej.

Na wartość sprawności rzeczywistej układu pompowego ma wpływ prawidłowy dobór pompy i silnika napędzającego, ich sprawności, stan i poprawność konstrukcji instalacji pompowej oraz sposób prowadzenia układu.

Sprawności η_{eu} i η_u związane są następującą zależnością:

$$\eta_{eu} = \eta_u \frac{H_r \min}{H_{st}} \quad (18)$$

zawsze więc $\eta_{eu} > \eta_u$.

Pojęcie sprawności rzeczywistej układu pompowego może zostać uogólnione na wszystkie układy pompowe pracujące przy stałej dodatniej statycznej wysokości podnoszenia.

Wnioski końcowe

Sprawność rzeczywista układu pompowego może służyć do obiektywnej oceny i porównywania pracy różnych układów pompowych ssąco-tłoczących. Układ pompowy powinien pracować przy wydajności odpowiadającej największej wartości sprawności rzeczywistej układu w zakresie pracy. Praca układu w warunkach odmiennych, świadczy o nieprawidłowej eksploatacji układu lub o niewłaściwym doborze pompy do układu.

LITERATURA

- [1] ŁAZARKIEWICZ SZ., TROSKOLAŃSKI A.T.: Pompy wirowe, PWT, Warszawa, 1960.
- [2] ŁYSOV K.I., GRIGORIEV K.T.: Nasosy i nasosnyje ustanovki, Moskva, 1965.

О ВОЗМОЖНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ
НАСОСНЫХ УСТАНОВОК

Р е з ю м е

Приведены определения эксплуатационного и действительного коэффициента полезного действия насосной установки. Выведены соответственные уравнения. Указаны возможности увеличения коэффициента полезного действия насосной установки.

POSSIBILITIES OF DEFINING THE EFFICIENCIES OF TYPICAL
PUMPING SYSTEMS

S u m m a r y

The present paper describes definitions of the exploitation and real efficiencies of typical pumping systems. The proper equations for the determination of these efficiencies are given. Moreover, some factors for the determination of the increase of the efficiency of a pumping system are also taken into consideration.