

ANDRZEJ KORCZAK, JERZY ROKITA
Katedra Pomp i Silników Wodnych

NIEKTÓRE PROBLEMY WSPÓŁPRACY POMPY WIROWEJ
ZE ZBIORNIKAMI OTWARTYMI

Streszczenie. Rozważono układy pompowe współpracujące ze zbiornikiem otwartym przy stałych i zmiennych parametrach pracy pompy. Przeanalizowano czasy napełniania zbiorników, zużycie energii i sprawność pracy układu w obu przypadkach. Wskazano wyższość układu pracującego przy zmiennych parametrach pracy pompy. Podano przykład liczbowy.

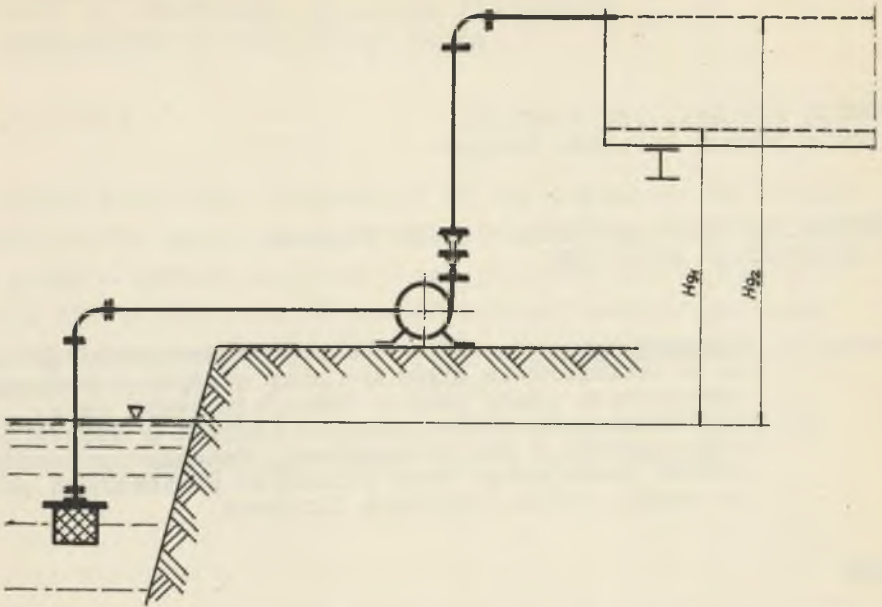
Wstęp

Częstym przypadkiem występującym w praktyce jest współpraca pompy wirowej ze zbiornikiem otwartym. W czasie pracy pompy napełniającej zbiornik następuje najczęściej zmiana poziomu cieczy w zbiorniku.

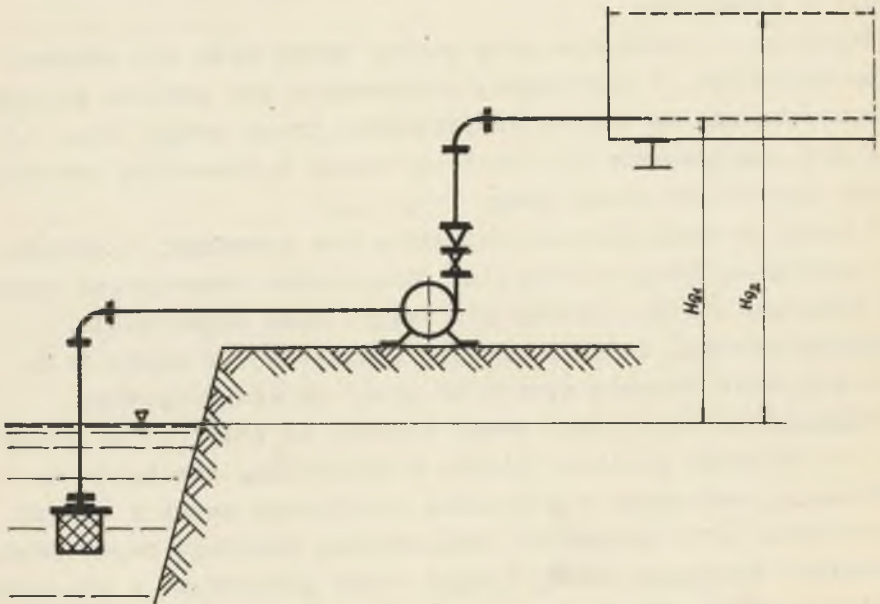
Napełnianie zbiornika przy pomocy pompy może się odbywać dwoma sposobami. W pierwszym, podnoszenie się poziomu cieczy w zbiorniku nie ma wpływu na parametry pracy pompy (rys. 1), w drugim, podnoszenie się poziomu cieczy w zbiorniku powoduje zmianę parametrów pracy pompy (rys. 2).

W pracy przeanalizowano najważniejsze wskaźniki i parametry współpracy pompy wirowej ze zbiornikiem otwartym, ze zmiennym poziomem cieczy, biorąc pod uwagę: czas napełniania zbiornika cieczą, zużycie energii potrzebnej do napełnienia zbiornika oraz średnią sprawność pracy układu pompowego.

Zagadnienie współpracy pompy wirowej ze zbiornikiem otwartym, ze zmiennym poziomem cieczy w zbiorniku, zasługuje na rozważenie, zwłaszcza w przypadku współpracy pompy z dużymi zbiornikami lub w przypadku konieczności częstego napełniania zbiornika. Występują wtedy długie czasy pompowania i stosunkowo duże zużycie energii.



Rys. 1. Układ pompy ssąco-tłoczący, pracujący przy stałych parametrach



Rys. 2. Układ pompy ssąco-tłoczący, ze zmienną geometryczną wysokością tłoczenia

1. Analityczne przedstawienie charakterystyki pompy wirowej i instalacji pompowej

Charakterystykę przepływu pompy wirowej stanowi zależność między użyteczną wysokością podnoszenia a wydajnością pompy. W większości przypadków w obliczeniach analitycznych można charakterystykę pompy wirowej w sposób przybliżony opisać zależnością typu:

$$H = H_0 - AQ^2 \quad (1)$$

gdzie:

- H - użyteczna wysokość podnoszenia pompy,
- Q - wydajność pompy,
- H_0, A - stałe charakterystyczne dla danej pompy.

Taki sposób przedstawienia charakterystyki pompy wirowej, może być zastosowany w przypadku pomp, których charakterystyka (w zakresie pracy) jest zbliżona do paraboli. Odnosi się to do większości pomp wirowych odśrodkowych. Wartości H_0 i A można obliczyć znając współrzędne (Q_1, H_1) i (Q_2, H_2) dwóch punktów charakterystyki pompy. Stałe A i H_0 można określić:

$$A = \frac{H_1 - H_2}{Q_2^2 - Q_1^2} \quad (2)$$

$$H_0 = H_1 + AQ_1^2 = H_2 + AQ_2^2 \quad (3)$$

Właściwości eksploatacyjne pomp wirowych określa również charakterystyka mocy pompy, stanowiąca zależność mocy na wale pompy od wydajności pompy. Również w wielu przypadkach, w zakresie pracy pompy, moc N na wale pompy może być opisana, z dostateczną dla celów praktycznych dokładnością, równaniem liniowym:

$$N = N_0 + BQ \quad (4)$$

gdzie:

N_0 , B - stałe charakterystyczne dla danej pompy.

Wartości N_0 i B można wyznaczyć, znając współrzędne (N_1, Q_1) i (N_2, Q_2) dwóch punktów charakterystyki mocy. Stałe B i N_0 można określić:

$$B = \frac{N_1 - N_2}{Q_1 - Q_2} \quad (5)$$

$$N_0 = N_1 - BQ_1 = N_2 - BQ_2 \quad (6)$$

Taki sposób przedstawienia charakterystyki mocy pompy wirowej może być zastosowany w przypadku pomp, których charakterystyki mocy w zakresie pracy są zbliżone do linii prostej. Większość pomp wirowych posiada charakterystyki przepływu i mocy, które można w wyżej podany sposób opisać analitycznie, z dostateczną dokładnością.

Charakterystyka instalacji pompowej może być opisana analitycznie następującym równaniem:

$$H_r = H_{st} + H_{dy} \quad (7)$$

gdzie:

H_r - wysokość podnoszenia układu pompowego,

H_{st} - statyczna wysokość podnoszenia,

H_{dy} - dynamiczna wysokość podnoszenia.

H_{st} określona jest wzorem:

$$H_{st} = H_g + \frac{p_g - p_d}{\gamma} \quad (8)$$

gdzie:

H_g - geometryczna wysokość podnoszenia,

- p_g - ciśnienie panujące nad zwierciadłem cieczy w obszarze górnym,
 p_d - ciśnienie panujące nad zwierciadłem cieczy w obszarze dolnym,
 γ - ciężar właściwy cieczy.

Statyczna wysokość podnoszenia układu pompowego może być stała lub zmienna w czasie pracy pompy. Zmiana statycznej wysokości podnoszenia układu pompowego występuje najczęściej w przypadku układów pompowych ze zmiennym poziomem cieczy w zbiorniku górnym (napełnianie zbiornika). Zmiana statycznej wysokości podnoszenia układu może nastąpić też na skutek wzrostu poziomu cieczy w zbiorniku górnym z równoczesnym sprężeniem gazu znajdującego się nad cieczą (zbiornik zamknięty). W dalszym ciągu rozważane będą układy pompowe ze zbiornikami otwartymi. W takich układach praktycznie $H_{st} \approx H_g$.

H_{dy} określona jest wzorem:

$$H_{dy} = \sum(\Delta h_s + \Delta h_t) + \frac{c_g^2 - c_d^2}{2g} \quad (9)$$

gdzie:

- Δh_s - wysokość strat hydraulicznych w przewodzie ssawnym,
 Δh_t - wysokość strat hydraulicznych w przewodzie tłocznym,
 c_g - prędkość odpływu cieczy w obszarze górnym,
 c_d - prędkość dopływu cieczy w obszarze dolnym,
 g - przyspieszenie siły ciężkości.

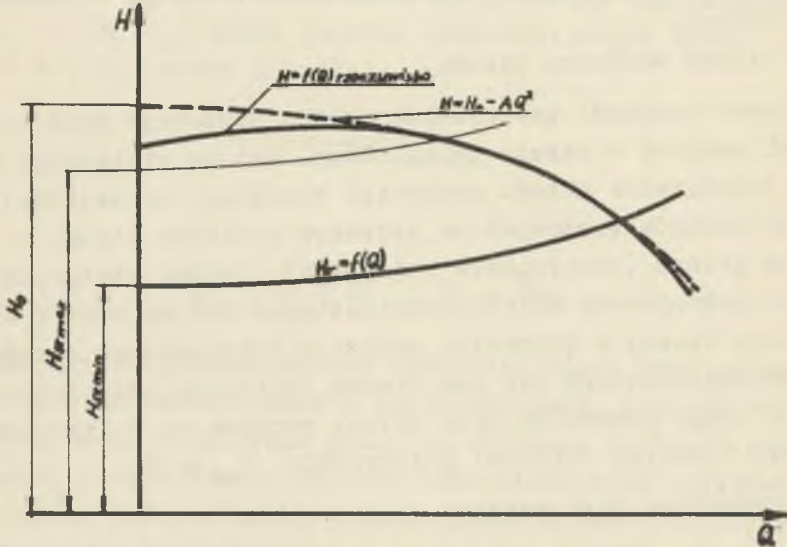
Dynamiczna wysokość podnoszenia układu pompowego jest funkcją wydajności i może być przedstawiona w postaci:

$$H_{dy} = CQ^2 \quad (10)$$

gdzie:

- C - współczynnik właściwy dla danego układu pompowego.

Zespół zależności: charakterystyka pompy i charakterystyka instalacji pompowej stanowi charakterystykę układu pompowego (rys. 3).



Rys. 3. Charakterystyka układu pompowego

2. Czas napełniania zbiornika

Napełnienie zbiornika pompowaną cieczą do określonej wysokości może być przeprowadzane nawet przy użyciu tej samej pompy, przy stałych lub przy zmiennych parametrach pracy pompy. Napełnianie zbiornika przy stałych parametrach pracy pompy realizowane jest w przypadku doprowadzenia wypływu przewodu tłocznego do poziomu równego co najmniej górnemu poziomowi napełnienia zbiornika cieczą (rys. 1). Napełnianie zaś zbiornika przy zmiennych parametrach pracy pompy, realizowane jest w przypadku doprowadzenia przewodu tłocznego do zbiornika bezpośrednio przy jego dnie (lub poniżej dolnego poziomu cieczy w zbiorniku), (rys.2).

Celowe jest przeanalizowanie czasów pracy takich samych pomp, napełniających identyczne zbiorniki, przy założeniu, że pompy zabudowane są w dwóch różnych układach (wg rys. 1 i 2), mających jednak identyczne równania dynamicznych wysokości podnoszenia (10). Charakterystykę pompy w obu przypadkach opisano równaniem (1).

2.1. Czas napełniania przy stałych parametrach pracy

Charakterystykę instalacji pompowej (rys. 2) można określić równaniem:

$$H_r = H_{g_2} + CQ^2 \quad (11)$$

Z zależności (1) i (11) wynika, że układ będzie pracował przy stałej wydajności Q_u :

$$Q_u = \sqrt{\frac{H_0 - H_{g_2}}{A + C}} \quad (12)$$

Zakładając, że zbiornik napełniany jest pompowaną cieczą na wysokość $(H_{g_2} - H_{g_1})$, objętość V cieczy w zbiorniku wyniesie:

$$V = F (H_{g_2} - H_{g_1}) \quad (13)$$

gdzie:

F - przekrój poprzeczny zbiornika.

Czas t_z napełniania zbiornika, wyniesie:

$$t_z = \frac{V}{Q_u} = F \sqrt{A + C} \frac{H_{g_2} - H_{g_1}}{\sqrt{H_0 - H_{g_2}}} \quad (14)$$

Natomiast czas napełnienia zbiornika na dowolną wysokość x , (ale $x \leq H_{g_2} - H_{g_1}$), wyniesie:

$$t_{zx} = F \sqrt{A + C} \frac{x}{\sqrt{H_0 - H_{g_2}}} \quad (15)$$

Z wzorów (14) i (15) wynika, że czas napełniania zbiornika cieczą jest wprost proporcjonalny do wielkości przekroju poprzecznego zbiornika i wysokości napełnienia.

2.2. Czas napełniania przy zmiennych parametrach pracy

W układzie pompowym, w którym pompa pracuje przy zmiennych w czasie parametrach pracy (rys. 2), zmienność parametrów pracy pompy powodowana jest podnoszeniem się poziomu cieczy w zbiorniku górnym. W najbardziej ogólnym przypadku zmienia się również poziom cieczy w zbiorniku dolnym. W układzie przedstawionym na rys. 4, pompa podaje wodę ze zbiornika dolnego do zbiornika górnego. Zmiana poziomów cieczy w czasie pracy pompy następuje w obu zbiornikach równocześnie.

Przy oznaczeniach według rys. 4, przyrost geometrycznej wysokości podnoszenia w czasie dt wyniesie:

$$dH_g = \left(\frac{1}{F} + \frac{1}{F_d} \right) Q dt \quad (16)$$

gdzie:

- F - przekrój zbiornika górnego,
- F_d - przekrój zbiornika dolnego.

Zakładając, że charakterystyka pompy opisana jest równaniem (1), natomiast charakterystyka instalacji pompowej opisana jest zależnością:

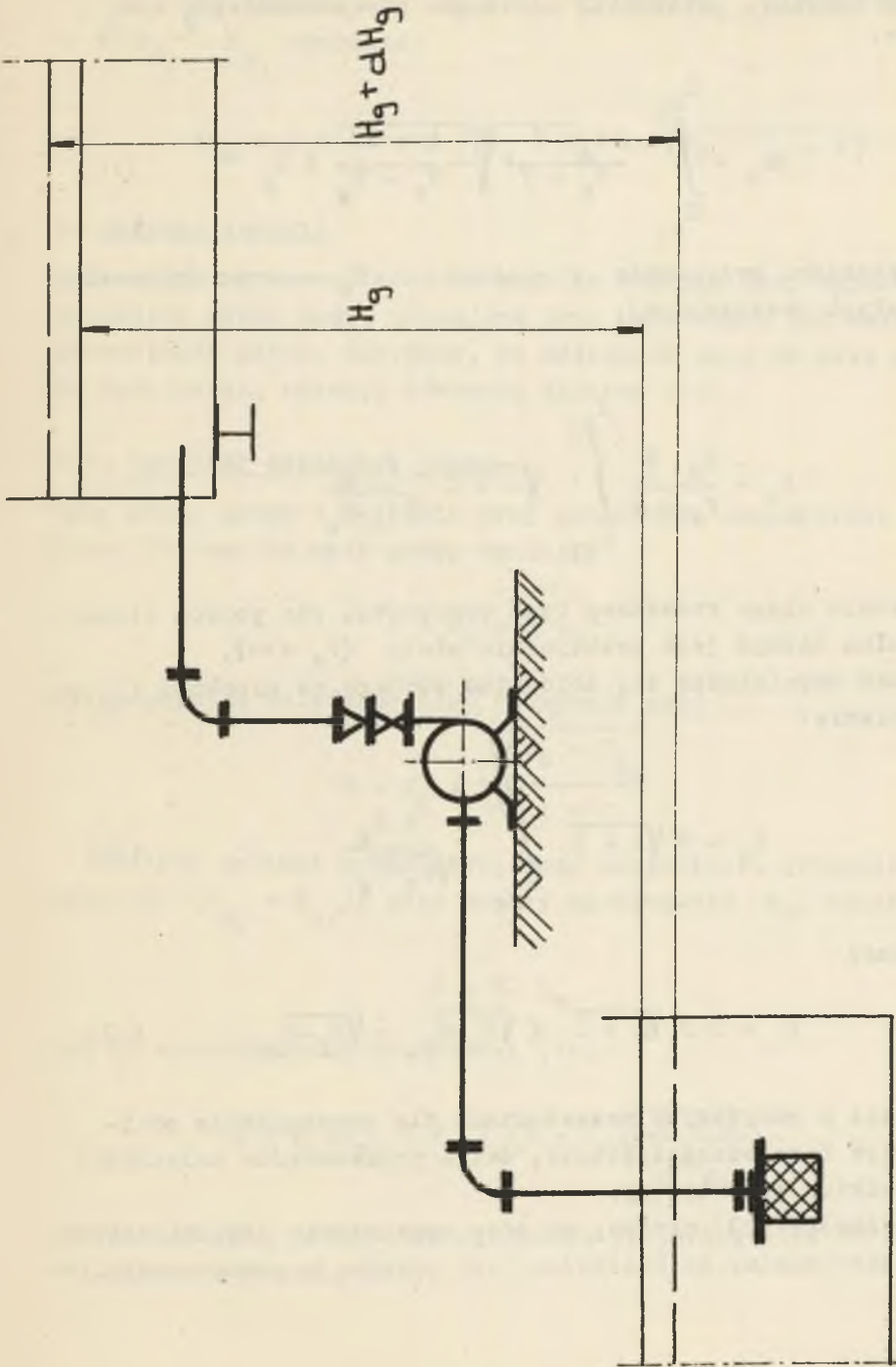
$$H_r = H_g + C Q^2 \quad (17)$$

chwilowa wydajność pompy wyniesie:

$$Q = \sqrt{\frac{H_o - H_g}{A + C}} \quad (18)$$

a wtedy:

$$dt = \frac{F_d}{F_d + F} \frac{F}{\sqrt{\frac{A + C}{H_o - H_g}}} dH_g \quad (19)$$



Rys. 4. Układ pompy ssąco-tłoczący, ze zmienną geometryczną wysokością ssania i zmienną geometryczną wysokością tłoczenia

Czas napełnienia zbiornika górnego na wysokość $(H_{g_2} - H_{g_1})$ wyniesie:

$$t_Q = \int_{H_{g_1}}^{H_{g_2}} \frac{F_d}{F_d + F} \sqrt{\frac{A + C}{H_0 - H_g}} dH_g \quad (20)$$

W większości przypadków $F = \text{const}$ i $F_d = \text{const}$ (zbiorniki o stałych przekrojach), wtedy:

$$t_Q = \frac{F_d}{F_d + F} \int_{H_{g_1}}^{H_{g_2}} \sqrt{\frac{A + C}{H_0 - H_g}} dH_g \quad (21)$$

W dalszym ciągu rozważane będą przypadki, gdy poziom cieczy w zbiorniku dolnym jest praktycznie stały ($F_d = \infty$). Wtedy czas napełniania się zbiornika górnego na wysokość $(H_{g_2} - H_{g_1})$ wyniesie:

$$t_Q = F \sqrt{A + C} \int_{H_{g_1}}^{H_{g_2}} \frac{dH_g}{\sqrt{H_0 - H_g}} \quad (22)$$

lub inaczej

$$t_Q = 2 F \sqrt{A + C} (\sqrt{H_0 - H_{g_1}} - \sqrt{H_0 - H_{g_2}}) \quad (23)$$

Ponieważ w powyższych rozważaniach dla uproszczenia pominięto wpływ bezwładności cieczy, zatem wyprowadzone zależności mają charakter przybliżony.

Z zależności (23) wynika, że czas napełniania się zbiornika jest proporcjonalny do wielkości jego przekroju poprzecznego.

Czas napełniania się zbiornika na dowolną wysokość x , gdzie $x \leq H_{g_2} - H_{g_1}$ wyniesie:

$$t_{Qx} = 2 F \sqrt{A + C} (\sqrt{H_0 - H_{g_1}} - \sqrt{H_0 - H_{g_1} - x}) \quad (24)$$

3. Zużycie energii

Celowe jest przeanalizowanie zużycia energii przy napełnianiu zbiornika przez pompę pracującą przy ustalonych lub zmiennych parametrach pracy. Założono, że zależność mocy na wale pompy od wydajności, opisuje równanie liniowe (4).

3.1. Ustalone parametry pracy

Przy pracy pompy w układzie przy ustalonych parametrach pracy (rys. 2), moc na wale pompy wyniesie:

$$N = N_0 + B Q_u \quad (25)$$

Wykorzystując zależność (12) otrzymuje się:

$$N = N_0 + B \sqrt{\frac{H_0 - H_{g_2}}{A + C}} \quad (26)$$

Energia pobrana przez pompę przy napełnianiu zbiornika na wysokość $(H_{g_2} - H_{g_1})$, przy czasie napełniania t_z , wyniesie:

$$E = N t_z \quad (27)$$

lub po wykorzystaniu zależności (14):

$$E = F (H_{g_2} - H_{g_1}) \left(B + N_0 \sqrt{\frac{A + C}{H_0 - H_{g_2}}} \right) \quad (28)$$

Zużycie energii jest w tym przypadku proporcjonalne do objętości przepompowanej cieczy.

3.2. Zmienne parametry pracy

Energia E_Q zużyta na napełnienie cieczą zbiornika na wysokość $(H_{g_2} - H_{g_1})$ przez pompę pracującą w układzie przy zmiennych parametrach pracy (rys. 3), określona jest zależnością:

$$E_Q = \int_0^t N dt \quad (29)$$

Wykorzystując związek:

$$Q dt = F dH_g \quad (30)$$

zależność przybiera postać:

$$E_Q = \int_{H_{g_1}}^{H_{g_2}} \frac{F}{Q} (N_0 + BQ) dH_g \quad (31)$$

Po wykorzystaniu związku (18):

$$E_Q = \int_{H_{g_1}}^{H_{g_2}} \left(B F + \frac{F N_0 \sqrt{A+C}}{\sqrt{H_0 - H_g}} \right) d H_g \quad (32)$$

i po scałkowaniu:

$$E_Q = BF (H_{g_2} - H_{g_1}) + 2N_0 F \sqrt{A+C} (\sqrt{H_0 - H_{g_1}} - \sqrt{H_0 - H_{g_2}}) \quad (33)$$

4. Porównanie efektów przy ustalonych i zmiennych parametrach pracy

Zakładając, że koszty inwestycyjne układu pompowego są równe w obu rozpatrywanych przypadkach, o celowości stosowania jednego z omawianych wariantów decyduje czas pracy i wielkość zużycia energii.

4.1. Czas pracy

Stosunek czasów pracy φ tej samej pompy napełniającej zbiornik otwarty na wysokość $(H_{g_2} - H_{g_1})$ pracującej przy zmiennych lub ustalonych parametrach pracy, wynosi:

$$\varphi = \frac{t_Q}{t_Z} . \quad (34)$$

Po wykorzystaniu zależności (14) i (24) otrzymuje się:

$$\varphi = \frac{2}{1 + \sqrt{\frac{H_0 - H_{g_1}}{H_0 - H_{g_2}}}} . \quad (35)$$

Ponieważ $H_{g_1} < H_{g_2}$, zatem zawsze $\varphi < 1$.

Porównanie czasów pracy tej samej pompy napełniającej zbiornik otwarty przy ustalonych lub zmiennych parametrach pracy, doprowadza do wniosku, że czas pracy jest mniejszy w przypadku pracy pompy przy zmiennych parametrach. Zmniejszenie się czasu pracy wzrasta tym bardziej (w porównaniu z pracą pompy przy ustalonych parametrach), im niższy jest dolny poziom cieczy w zbiorniku (im niższa jest wartość H_{g_1}).

Obliczenie czasu pracy pompy napełniającej zbiornik na określoną wysokość, przy pracy pompy przy zmiennych parametrach, może być dokonane przy uwzględnieniu tzw. średniej wydajności pompy Q_{sr} :

$$Q_{sr} = \frac{Q_1 + Q_2}{2} , \quad (36)$$

gdzie:

Q_1 - wydajność pompy odpowiadająca pracy przy $H_g = H_{g_1}$,

Q_2 - wydajność pompy odpowiadająca pracy przy $H_g = H_{g_2}$,

przy czym:

$$Q_1 = \sqrt{\frac{H_0 - H_{g_1}}{A + C}} \quad (37)$$

$$Q_2 = \sqrt{\frac{H_0 - H_{g_2}}{A + C}} \quad (38)$$

Czas napełniania zbiornika na wysokość $(H_{g_1} - H_{g_2})$ przy pracy pompy przy zmiennych parametrach, wyniesie:

$$t_Q = \frac{F(H_{g_2} - H_{g_1})}{Q_{sr}} \quad (39)$$

Zależności (23) i (39) są równoważne.

4.2. Zużycie energii

Energia zużyta przez pompę napełniającą zbiornik cieczą przy ustalonych parametrach pracy [określona zależnością (28)], może być również opisana równaniem:

$$E = N_0 t_z + B F (H_{g_2} - H_{g_1}) \quad (40)$$

Natomiast energia zużyta przez pompę napełniającą zbiornik cieczą przy zmiennych parametrach pracy [określona zależnością (33)], może być również określona równaniem:

$$E_Q = N_0 t_Q + B F (H_{g_2} - H_{g_1}) \quad (41)$$

Ponieważ zawsze $t_z > t_Q$, zatem zawsze $E > E_Q$.

Oszczędność w zużyciu energii wyniesie:

$$\Delta E = N_0 (t_z - t_Q) \quad (42)$$

Oszczędność w zużyciu energii przez pompę pracującą przy zmiennych parametrach pracy (w porównaniu z pompą pracującą przy ustalonych parametrach) jest tym większa, im niższy jest dolny poziom cieczy w napełnionym zbiorniku (im niższa jest wartość t_Q).

4.3. Średnia sprawność pracy układu

Średnią sprawnością pracy układu pompowego (bez uwzględnienia silnika napędzającego) jest stosunek pracy użytecznej wykonanej przez układ pompowy do energii pobranej przez pompę.

W odniesieniu do rozpatrywanych układów pompowych (rys. 1 i rys. 2), średnia sprawność pracy układu określona jest wzorem:

$$\eta_{\text{sr}} = \frac{\gamma \int_0^{t_Q} Q H_g dt}{\int_0^{t_Q} N dt} \quad (43)$$

Ale po wykorzystaniu zależności (30):

$$\gamma \int_0^{t_Q} Q H_g dt = \frac{1}{2} \gamma F (H_{g_2}^2 - H_{g_1}^2) \quad (44)$$

Po wykorzystaniu zależności (28), (43) i (44) średnia sprawność pracy układu pompowego napełniającego zbiornik cieczą, w przypadku pracy pompy przy ustalonych parametrach, wyniesie:

$$\eta_{\text{sr}} = \frac{\gamma (H_{g_2} + H_{g_1})}{2(N_0 \sqrt{A+C} \frac{1}{\sqrt{H_0 - H_{g_2}}} + B)} \quad (45)$$

Natomiast po uwzględnieniu zależności (33), (43), (44) średnia sprawność układu pompowego napełniającego zbiornik cieczą, w przypadku pracy pompy przy zmiennych parametrach, wyniesie:

$$\eta_{\text{śr } Q} = \frac{\gamma(H_{g_2} + H_{g_1})}{2(N_0 \sqrt{A+C} \frac{2}{\sqrt{H_0-H_{g_1}} + \sqrt{H_0-H_{g_2}}} + B)} \quad (46)$$

Ponieważ $H_{g_2} > H_{g_1}$, zatem zawsze $\eta_{\text{śr } Q} > \eta_{\text{śr}}$.

Różnica między $\eta_{\text{śr } Q}$ i $\eta_{\text{śr}}$ jest tym większa, im niższy jest dolny poziom cieczy w zbiorniku (im niższa jest wartość H_{g_1}).

5. Przykład liczbowy

Porównać warunki pracy pompy wirowej odśrodkowej typu ON-65, napełniającej zbiornik o przekroju $F = 25 \text{ m}^2$ od poziomu $H_{g_1} = 25 \text{ m}$ do poziomu $H_{g_2} = 38,875 \text{ m}$, wodą o ciężarze właściwym $\gamma = 9806,65 \frac{\text{N}}{\text{m}^3}$, przy ustalonych i zmiennych parametrach pracy. Charakterystyka instalacji pompowej określona jest równaniem:

$$H_r = H_g + 14580 Q^2$$

gdzie:

Q wyrażone jest w $\frac{\text{m}^3}{\text{s}}$.

Charakterystykę przepływu pompy ON-65 w zakresie wysokości podnoszenia od 27 do 40 m, przy wykorzystaniu metody najmniejszych kwadratów opisano równaniem:

$$H = 45,238 - 73152 Q^2$$

przy czym rozbieżność między wartościami wynikającymi z równania a rzeczywistymi nie przekracza 1%.

W przypadku wypływu z przewodu tłocznego do zbiornika na wysokości H_{g_2} (praca pompy przy ustalonych parametrach), czas pracy, konieczny do napełnienia zbiornika na wysokość H_{g_2} $H_{g_1} = 11,875$ m, wyniesie:

$$t_z = F \sqrt{A+C} \frac{H_{g_2} - H_{g_1}}{\sqrt{H_0 - H_{g_2}}} = 25 \sqrt{73152 + 14580} \frac{11,875}{\sqrt{45,238 - 38,875}} =$$

$$= 35700 \text{ s} = 595 \text{ min.}$$

W przypadku wypływu z przewodu tłocznego, usytuowanego nie wyżej niż dolny poziom cieczy w zbiorniku ($H_{g_1} = 27$ m), czas pracy pompy potrzebny do napełnienia zbiornika do wysokości H_{g_2} przy zmiennych w czasie parametrach, wyniesie:

$$t_0 = 2F \sqrt{A+C} \left(\sqrt{H_0 - H_{g_1}} - \sqrt{H_0 - H_{g_2}} \right) =$$

$$= 2 \cdot 25 \sqrt{73152 + 14580} \left(\sqrt{45,238 - 27} - \sqrt{45,238 - 38,875} \right) =$$

$$= 26220 \text{ s} = 437 \text{ min.}$$

Stosunek czasów napełniania $\varphi = \frac{t_0}{t_z} = \frac{437}{595} = 0,735$.

Moc na wale pompy ON-65 opisano przy wykorzystaniu metody najmniejszych kwadratów równaniem liniowym:

$$N = 172620 Q + 8135$$

przy czym moc wyrażono w W.

W przypadku pracy pompy przy ustalonych parametrach, energia pobrana przez pompę, wyniesie:

$$E = F (H_{g_2} - H_{g_1}) \left(B + N_0 \sqrt{\frac{A+C}{H_0 - H_{g_2}}} \right) =$$

$$= 25(38,875 - 27) \left(172620 + 8135 \sqrt{\frac{73152 + 14580}{45,238 - 38,875}} \right) = 338400000 \text{ Ws} = 94 \text{ kWh}$$

W przypadku pracy pompy przy zmiennych parametrach, energia pobrana przez pompę, wyniesie:

$$\begin{aligned}
 E_Q &= B F(H_{g_2} - H_{g_1}) + 2N_o F \sqrt{A+C} (\sqrt{H_o - H_{g_1}} - \sqrt{H_o - H_{g_2}}) = \\
 &= 172620 \cdot 25(38,875 - 27) + 2 \cdot 8135 \cdot 25 \sqrt{73152 + 14580} (\sqrt{45,238 -} \\
 &\quad - 27 - \sqrt{45,238 - 38,875}) = 266040000 \text{ Ws} = 73,9 \text{ kWh.}
 \end{aligned}$$

Średnia sprawność pracy układu przy ustalonych parametrach, wyniesie:

$$\begin{aligned}
 \eta_{sr} &= \frac{\gamma(H_{g_2} + H_{g_1})}{2(\sqrt{A+C} N_o \frac{1}{\sqrt{H_o - H_{g_2}}} + B)} = \\
 &= \frac{9806,65 (38,875 + 27)}{2(\frac{\sqrt{73152 + 14580} \cdot 8135}{\sqrt{45,238 - 38,875}} + 172620)} = 0,282
 \end{aligned}$$

natomiast średnia sprawność pracy układu przy zmiennych parametrach, wyniesie:

$$\begin{aligned}
 \eta_{sr Q} &= \frac{\gamma(H_{g_2} + H_{g_1})}{2(\sqrt{A+C} N_o \frac{2}{\sqrt{H_o - H_{g_1}} + \sqrt{H_o - H_{g_2}}} + B)} = \\
 &= \frac{9806,65 (38,875 + 27)}{2(\frac{2 \sqrt{73152 + 14580} \cdot 8135}{\sqrt{45,238 - 27} + \sqrt{45,238 - 38,875}} + 172620)} = 0,359
 \end{aligned}$$

6. Zakończenie

Przeprowadzone rozważania wykazują w przypadku stosowania pomp wirowych do napełniania zbiorników, wyższość stosowania układów pompowych, w których pompa pracuje przy zmiennych w czasie parametrach pracy, czyli punkt pracy pompy przesuwają się wzdłuż charakterystyki przepływu. W tym przypadku następuje zmniejszenie czasu pracy pompy, w porównaniu z czasem pracy pompy pracującej przy ustalonych parametrach. Zmniejszenie czasu pracy wynosi na ogół od kilku do kilkunastu procent. W przeprowadzonych rozważaniach nie uwzględniono wpływu bezwładności cieczy na wielkość czasu pracy pompy. Przy dłuższych czasach pompowania przekraczających kilka minut wpływ ten jest niewielki i możliwy do pominięcia, z zachowaniem jednak praktycznej dokładności obliczeń. Ponadto bezwładność cieczy wpływa na zmniejszenie czasu pracy pompy (przy zmiennych parametrach pracy), co potwierdza wnioski wynikające z przeprowadzonych rozważań.

W przeprowadzonych rozważaniach założono, że charakterystyki dynamiczne $[H_{dy} = f(Q)]$ układów pompowych, w których ta sama pompa wirowa pracuje przy ustalonych lub zmiennych parametrach pracy, są identyczne. Założenie to można uznać za słuszne, zaś ewentualne nieznaczne różnice spowodują zwiększenie się czasu pracy pompy pracującej przy ustalonych parametrach pracy, co też potwierdza wynikające wnioski. Zmniejszenie się czasu pracy pompy jest tym większe im większa jest różnica wysokości cieczy w zbiorniku przed i po jego napełnieniu. Zabudowanie pompy w sposób umożliwiający jej pracę przy zmiennych parametrach, stwarza możliwość zwiększenia częstotliwości napełnień zbiornika w określonym czasie.

Ponieważ można przyjąć, że koszty inwestycyjne są w obu przypadkach jednakowe, zatem o ekonomiczności pracy układu decyduje zużycie energii przez pompę. Z przeprowadzonych rozważań wynika, że zużycie energii przez pompę w czasie jednego cyklu pracy (napełnienie zbiornika) jest mniejsze w przypadku zastosowania pompy w układzie pracującym przy zmiennych parametrach.

Ponieważ zmniejszenie zużycia energii jest proporcjonalne do różnicy czasów: $t_z - t_0$, zatem oszczędność energii wzrasta przy współpracy pompy z dużymi zbiornikami (duże przekroje i duże wysokości napełniania). Również średnia wartość sprawności pracy układu pompowego jest wyższa w przypadku pracy pompy przy zmiennych w czasie parametrach.

Tak więc przeprowadzone rozważania wykazały większe zalety stosowania układów pompowych, w których pompa pracuje przy zmiennych parametrach, napełniając zbiornik otwarty. Jedynie w wyjątkowych przypadkach, gdy charakterystyka mocy pompy w zakresie pracy jest bardzo stroma (gdy $N_0 < 0$), zużycie energii w przypadku pracy przy zmiennych parametrach jest większe. Ponadto w przypadku pracy pompy przy zmiennych parametrach, następuje pewne zmniejszenie maksymalnej geometrycznej wysokości ssania oraz konieczność zastosowania silnika o odpowiednio większej mocy.

Przytoczone rozważania i wnioski mogą być wykorzystane przy analizie i projektowaniu układów pompowych, w których pompa wirowa napełnia cieczą zbiornik otwarty.

LITERATURA

- [1] JANKOWSKI F.: Pompownie i urządzenia hydroforowe, Arkady, 1966.
- [2] Pompy, Katalog - Poradnik, WGH, 1960.

НЕКОТОРЫЕ ПРОБЛЕМЫ СОВМЕСТНОЙ РАБОТЫ ЛОПАТОЧНОГО НАСОСА
С ОТКРЫТЫМИ РЕЗЕРВУАРАМИ

Р е з ю м е

Рассмотрено насосные системы совместно работающие с открытым резервуаром при постоянных и переменных режимах работы. Рассмотрено время наполнения резервуаров, расход энергии и коэффициент полезного действия системы в рассматриваемых условиях работы. Указано превосходство системы работающей при переменных режимах работы насоса. Приведено численный пример.

SCME PROBLEMS OF THE COOPERATION
OF A ROTATING PUMP WITH OPEN RESERVOIRS

S u m m a r y

Pump system with constant and variable parameters cooperating with an open reservoir, has been considered. The time of filling the reservoirs, the consumption of energy and the efficiency of the pump in both cases were analysed. There was pointed out the superiority of a system working with changeable parameters of the pump. Furthermore a numerical example was given.