

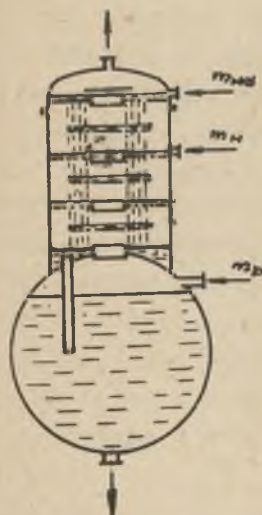
Andrzej Gdula
Wydziałowe Laboratorium
Miernictwa i Automatyki
Procesów Energetycznych

WPLYW CHARAKTERYSTYK POMP ORAZ RUROCIĄGÓW ZASILAJĄCYCH NA WŁAŚCIWOŚCI DYNAMICZNE TERMICZNYCH ODGAZOWYWACZY WODY

Streszczenie. W pracy rozważano wpływ współpracy odgazowywaczy z pompą zasilającą na dynamikę procesu odgazowania wody. Wyznaczono transmitancje oraz określono warunki stabilności odgazowaczy w przypadku współpracy; jeden odgazowywacz zasilany z jednej pompy oraz przy równoległym zasilaniu jedną pompą dwu odgazowaczy.

1. Wstęp

Odgazowywanie termiczne jest najczęściej stosowanym sposobem odgazowania wody kotłowej. Budowa i zasada działania odgazowacza są bardzo proste.



Rys. 1. Schemat odgazowacza termicznego

Woda odgazowywana spływa strugami z góry przez otwory w półkach sitowych. Z dołu doprowadzana jest para podgrzewająca wodę do temperatury wrzenia. W stanie wrzenia następuje intensywne wydzielanie się rozpuszczonych w wodzie gazów. Wydzielające się gazy wraz z resztkami nieskroplonej pary wpuszczane są na zewnątrz. Regulacja odgazowacza polega na utrzymaniu stałego ciśnienia pary oraz poziomu wody w zbiorniku. Ciśnienie pary w zbiorniku reguluje się przez zmiany natężenia dopływu pary m_p do odgazowacza. Poziom wody w zbiorniku reguluje się przez zmiany natężenia dopływu wody dodatkowej. Duża dokładność re-

gulaacji poziomu nie jest konieczna, natomiast wymagana jest wysoka jakość regulacji ciśnienia w celu zapewnienia pożądanego odgazowania wody. Z tych względów w odgazowywaczach zwykle stosuje się dwa niezależne układy regulacji; ciśnienia i poziomu. Dobór regulatorów oraz określenie ich nastaw, zapewniających stabilność oraz pożądana jakość regulacji, wymaga pełnej i dokładnej znajomości właściwości dynamicznych regulowanego obiektu.

2. Wpływ współpracy z pompą na właściwości dynamiczne odgazowacza

Wg Szumskiej [1] właściwości dynamiczne odgazowacza w obwodzie regulacji ciśnienia dostatecznie dokładnie można opisać równaniem (1)

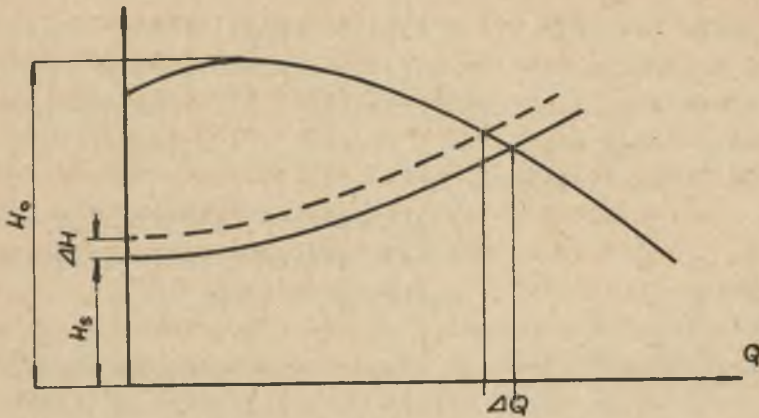
$$(T_1 s + 1) \Delta p = -k_1 \Delta m_k - k_2 \Delta m_{wd} + k_3 \Delta m_p - k_4 \Delta m_w + \\ + k_5 \Delta i_k + k_6 \Delta i_{wd} + k_7 \Delta i_p \quad (1)$$

Przedstawiony tak opis właściwości dynamicznych odgazowacza nie uwzględnia jednak zależności zmian natężenia dopływu kondensatu i wody dodatkowej od zmian ciśnienia pary w odgazowaczu (ze wzrostem ciśnienia w odgazowaczu wzrasta statyczna wysokość podnoszenia w układzie pompowym zasilającym odgazowywacz, co powoduje zmniejszenie się wydajności pompy, rys. 2).

Zależność ta może w pewnych przypadkach bardzo poważnie wpłynąć na zmianę właściwości dynamicznych odgazowacza. Z wykresu rys. 2 można zauważyć, że im mniejsze jest wzajemne nachylenie charakterystyki pompy i rurociągu, tym większy jest wpływ oddziaływania pompy. Wpływ tego oddziaływania można wyznaczyć teoretycznie z równań charakterystyki pompy i rurociągu. Aproksymując przebiegi obu charakterystyk parabola otrzymuje się dla rurociągu równanie (2) dla pompy (3)

$$H = CQ^2 + H_s \quad (3)$$

$$H = H_0 - AQ^2 \quad (3)$$



Rys. 2. Charakterystyka współpracy odgazowywacza z pompą

W punkcie współpracy pompy i rurociągu z obiektem

$$CQ^2 + H_s = H_0 - AQ^2 \quad (4)$$

skąd

$$Q = \sqrt{\frac{1}{C+A} (H_0 - H_s)} \quad (5)$$

w zakresie małych odchyień

$$\Delta Q = -\frac{1}{2} \sqrt{\frac{1}{(C+A)(H_0 - H_s)}} \Delta H_s \quad (6)$$

podstawiając

$$\Delta H_s = \frac{\Delta p}{\gamma} \quad (7)$$

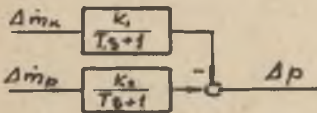
$$\Delta Q = -k_2 \Delta p \quad (8)$$

gdzie

$$k_2 = \frac{1}{2\gamma} \sqrt{\frac{1}{(C+A)(H_0 - H_s)}} \quad (9)$$

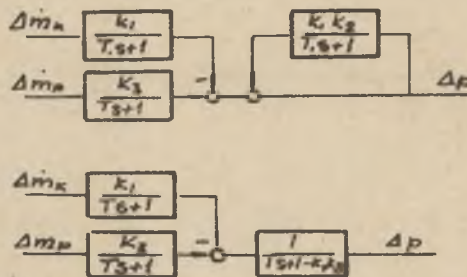
Na podstawie równania (1) pomijając wpływ mniej istotnych parametrów otrzymuje się uproszczony schemat blokowy odgazowacza jako obiektu regulacji ciśnienia (rys. 3). Uwzględniając oddziaływanie pompy zasilającej otrzymuje się schemat blokowy odgazowacza przedstawiony na rys. 4.

Z równania operatywnego transmitancji członu uwzględniającego oddziaływanie pompy



$$F_p = \frac{1}{T_s+1 - k_1 k_2} \quad (10)$$

Rys. 3. Uproszczony schemat blokowy



Rys. 4. Schemat blokowy odgazowacza z uwzględnieniem wpływu pompy zasilającej

wynika warunek stabilności obiektu

$$1 - k_1 k_2 > 0 \quad (11)$$

skąd

$$k_2 < \frac{1}{k_1}$$

Po uproszczeniu transmitancji członu $F_p(s)$ otrzymuje się

$$F_p(s) = \frac{k_p}{T_p s + 1} \quad (12)$$

gdzie

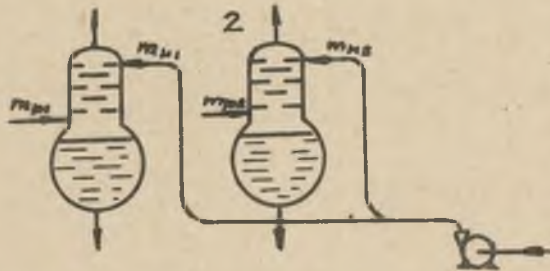
$$k_p = \frac{1}{1-k_1 k_2} \quad (13)$$

$$T_p = \frac{T_1}{1-k_1 k_2} \quad (14)$$

Z równania (6) wynika, że im mniejsze nachylenia charakterystyki pompy i rurociągu w otoczeniu punktu współpracy obiektu z pompą, tym większa jest wartość współczynnika k_2 co powoduje wzrost współczynnika k_p i stałej czasowej T_p obiektu.

3. Równoległa współpraca dwu odgazowaczy zasilanych wspólną pompą

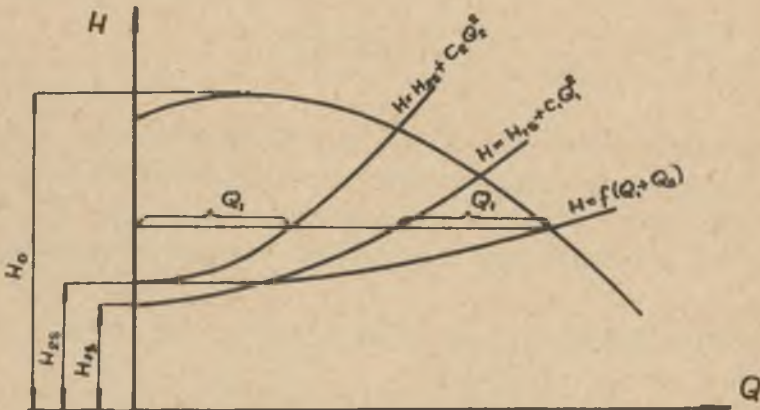
W przypadku zasilania jedna pompa dwu odrębnych odgazowaczy następuje poprzez pompę wzajemne sprzężenie obu odgazowaczy. W



Rys. 5. Układ dwu odgazowaczy zasilanych wspólną pompą

przypadku wzrostu ciśnienia w odgazowaczu zasilanym rurociągiem 1 (rys. 5) następuje zmniejszenie się dopływu wody do odgazowacza 1 oraz zwiększenie dopływu wody do odgazowacza 2. Podobnie jak w przypadku współpracy pompy z jednym odgazowaczem; im mniejsze nachylenie charakterystyki pompy i charakterystyk rurociągów zasilających, tym większy jest wpływ oddziaływania pompy na właściwości dynamiczne odgazowaczy (rys.6).

Teoretycznie wpływ wzajemnego oddziaływania odgazowywaczy można wyznaczyć z równań charakterystyk rurociąguw zasilających 1 i 2 oraz pompy zasilającej.



Rys. 6. Charakterystyka statyczna współpracy dwu odgazowywaczy z jedną pompą

Dla rurociągu 1

$$H = C_1 Q_1^2 + H_{1s} \quad (15)$$

skąd

$$Q_1 = \sqrt{\frac{H - H_{1s}}{C_1}} \quad (16)$$

Dla rurociągu 2

$$H = C_2 Q_2^2 + H_{2s} \quad (17)$$

skąd

$$Q_2 = \sqrt{\frac{H - H_{2s}}{C_2}} \quad (18)$$

dla pompy

$$H = H_0 - \Delta Q^2 \quad (19)$$

skąd

$$Q = \sqrt{\frac{H_0 - H}{\Delta}} \quad (20)$$

z warunkiem współpracy pompy z dwoma obiektami

$$Q - Q_1 - Q_2 = 0 \quad (21)$$

po wstawieniu (16) (18) (20) - (21) otrzymuje się

$$\sqrt{\frac{H_0 - H}{\Delta}} - \sqrt{\frac{H - H_{1s}}{C_1}} - \sqrt{\frac{H - H_{2s}}{C_2}} = 0 \quad (22)$$

ponieważ

$$Q_1 = \psi_1 (H_{1s}, H_{2s})$$

oraz

$$Q_2 = \psi_2 (H_{1s}, H_{2s})$$

$$\Delta Q_1 = \frac{\partial \psi_1}{\partial H_{1s}} \Delta H_{1s} + \frac{\partial \psi_1}{\partial H_{2s}} \Delta H_{2s} \quad (23)$$

$$Q_2 = \frac{2}{H_{1s}} H_{1s} + \frac{\partial \psi_2}{\partial H_{2s}} \Delta H_{2s} \quad (24)$$

Ze względu na to, że funkcje $Q_1 = \psi_1(H_{1s}, H_{2s})$ i $Q_2 = \psi_2(H_{1s}, H_{2s})$ znamy tylko w postaciach uwikłanych $\psi_1(Q_1, H_{1s}, H_{2s}) = 0$ i $\psi_2(Q_2, H_{1s}, H_{2s}) = 0$

pochodne cząstkowe $\frac{\partial \psi_1}{\partial H_{1s}}, \frac{\partial \psi_1}{\partial H_{2s}}, \frac{\partial \psi_2}{\partial H_{1s}}, \frac{\partial \psi_2}{\partial H_{2s}}$

można wyznaczyć z równań:

$$\frac{\partial \psi_1}{\partial H_{1s}} = - \frac{\frac{\partial \psi_1}{\partial H_{1s}}}{\frac{\partial \psi_1}{\partial Q_1}} ; \quad \frac{\partial \psi_1}{\partial H_{2s}} = - \frac{\frac{\partial \psi_1}{\partial H_{2s}}}{\frac{\partial \psi_1}{\partial Q_1}} \quad (25)$$

$$\frac{\partial \psi_2}{\partial H_{1s}} = - \frac{\frac{\partial \psi_2}{\partial H_{1s}}}{\frac{\partial \psi_2}{\partial Q_2}} ; \quad \frac{\partial \psi_2}{\partial H_{2s}} = - \frac{\frac{\partial \psi_2}{\partial H_{2s}}}{\frac{\partial \psi_2}{\partial Q_2}} \quad (26)$$

funkcje $\psi_1(Q_1, H_{1s}, H_{2s}) = 0$ otrzymuje się wstawiając (15) - (22) stąd:

$$\psi_1(Q_1, H_{1s}, H_{2s}) = \sqrt{\frac{H_0 - C_1 Q_1^2 - H_{1s}}{\Delta}} - Q_1 - \sqrt{\frac{C_1 Q_1^2 + H_{1s} - H_{2s}}{C_2}} = 0 \quad (27)$$

funkcje $\psi_2(Q_2, H_{1s}, H_{2s}) = 0$ otrzymuje się wstawiając (17) - (22) stąd;

$$\psi_2(Q_2, H_{1s}, H_{2s}) = \sqrt{\frac{H_0 - C_2 Q_2^2 - H_{2s}}{\Delta}} - \sqrt{\frac{C_2 Q_2^2 + H_{2s} - H_{1s}}{C_1}} - Q_2 = 0 \quad (28)$$

wstawiając (25) - (23) otrzymuje się

$$\Delta Q_1 = - \frac{\frac{\partial \varphi_1}{\partial H_{1s}}}{\frac{\partial \varphi_1}{\partial Q_1}} \Delta H_{1s} - \frac{\frac{\partial \varphi_1}{\partial H_{2s}}}{\frac{\partial \varphi_1}{\partial Q_2}} \Delta H_{2s} \quad (29)$$

wstawiając (26) - (24) otrzymuje się

$$\Delta Q_2 = - \frac{\frac{\partial \varphi_2}{\partial H_{1s}}}{\frac{\partial \varphi_2}{\partial Q_2}} \Delta H_{1s} - \frac{\frac{\partial \varphi_2}{\partial H_{2s}}}{\frac{\partial \varphi_2}{\partial Q_2}} \Delta H_{2s} \quad (30)$$

podstawiając (29) i (30)

$$\Delta H_{1s} = \frac{\Delta P_1}{j}; \quad \Delta H_{2s} = \frac{\Delta P_2}{j} \quad (31)$$

otrzymuje się

$$\Delta Q_1 = K_{11} \Delta P_1 + K_{12} \Delta P_2 \quad (32)$$

$$\Delta Q_2 = K_{22} \Delta P_2 + K_{21} \Delta P_1$$

gdzie:

$$K_{11} = \frac{-C_1 C_2 Q_1 Q_2 - \Delta C_1 Q Q_1}{2 + C_1^2 C_2 Q_1^2 Q_2 + \Delta C_1^2 Q Q_1^2} \quad (34)$$

$$K_{12} = \frac{\Delta C_1 Q Q_1}{2 + C_1^2 C_2 Q_1^2 Q_2 + \Delta C_1^2 Q Q_1^2} \quad (34)$$

$$K_{22} = \frac{-C_1 C_2 Q_1 Q_2 - \Delta C_2 Q Q_2}{2 + C_2^2 C_1 Q_2^2 Q_1 + \Delta C_2^2 Q Q_2^2} \quad (35)$$

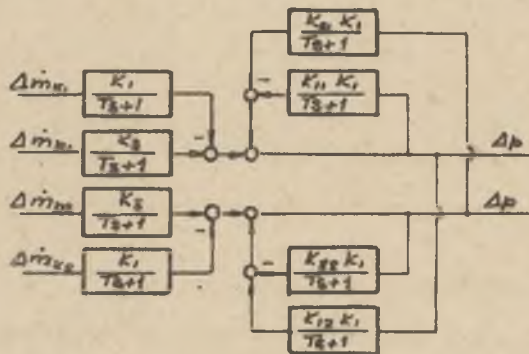
$$K_{21} = \frac{\Delta C_2 Q Q_2}{2 + C_2^2 C_1 Q_2^2 Q_1 + \Delta C_2^2 Q Q_2^2} \quad (35)$$

Rys. 7 przedstawia schemat blokowy układu dwu odgazowywaczy, Podobnie jak w przypadku współpracy pompy z jednym odgazowaczem warunkiem stabilności poszczególnych odgazowaczy jest:

$$K_{11} < \frac{1}{K_1} \quad (36)$$

oraz

$$K_{21} < \frac{1}{K_1} \quad (37)$$



Rys. 7. Schemat blokowy dwu odgazowaczy zasilanych wspólną pompą

4. Wnioski

W przypadku współpracy pojedynczego odgazowywacza z pompą wzrasta o jeden rząd inercja obiektu. Stała czasowa oraz współczynnik wzmocnienia szłonu wynikłego z oddziaływania pompy na

obiekt zależą od wzajemnego nachylenia charakterystyk pompy i rurociągu w punkcie współpracy, im mniejsze nachylenie, tym większa strata czasowa i większy współczynnik wzrostu ciśnienia. W przypadku bardzo małego nachylenia charakterystyk rurociągów i pompy w punkcie współpracy może wystąpić brak stabilności w obiegu.

W przypadku równoległej współpracy dwu odgazowywaczy zasilanych z wspólnej pompy obok zwiększenia siły rzędu: inercyjii obiektu jak w przypadku poprzednim, występują bardzo silne sprzężenie skośne między obu odgazowywaczami. Współczynniki wzrostu ciśnienia tych sprzężeń są tym większe, im mniejsze są nachylenia charakterystyk rurociągów i pompy w punkcie współpracy. Z tych względów regulacja odgazowywaczy w tym przypadku jest bardzo trudna i rzadko stosowana.

Wpływ oddziaływania pompy współpracującej z obiektem na własności dynamiczne może występować i wywierać bardzo znaczny wpływ także w przypadku innych procesów. W niektórych przypadkach oddziaływanie to może polepszyć własności regulacyjne obiektu regulacji.

Stosowane oznaczenia

\dot{m}_k	- natężenie dopływu kondensatu do odgazowywaczy
\dot{m}_{wd}	- natężenie dopływu wody dodatkowej do odgazowywaczy
p	- ciśnienie w odgazowywaczu
\dot{m}_p	- natężenie dopływu pary do odgazowywaczy
T_1	- stała czasowa odgazowywacza
s	- operator różniczkowy
H	- wysokość podnoszenia pompy
Q	- wydajność pompy
H_s	- statyczna wysokość podnoszenia

j	- ciężar właściwy kondensatu
m_w	- masa wody odgazowanej opuszczająca zbiornik odgazowywacza
i_k	- entalpia kondensatu
i_{wd}	- entalpia wody dodatkowej
i_p	- entalpia pary
$K_1, K_2, K_3,$	
$K_4, K_5, K_6,$	- współczynniki stałe
K_7	

LITERATURA

- [1] SZUMSKAJA L.C., RJABOJ E.B. - Issledowanije dinamiki deoeraciiionnoj ustanowki bloka 800 MW. Tieploenergiatika 1/1965.
- [2] ŁAZARKIEWICZ, TROSKOLAŃSKI - Pompy wirowe.

ВЛИЯНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК НАСОСА А ТАКЖЕ ПИТАТЕЛЬНОГО ВОДЯНОГО ТРУБПРОВОДА НА ДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТЕРМИЧЕСКОГО ДЕГАЭРАТОРА

С о д е р ж а н и е

В работе разработано влияние совместной работы дегаэрата с питательным насосом на динамические свойства процесса термического дегаэрации воды. Назначены передаточные функции а также определено условия стабильности.

INFLUENCE OF FEED PUMP CHARACTERISTICS ON DYNAMICAL PROPERTIES
OF THERMAL WATER DEGASIFIER

S u m m a r y

In present paper was considered the influence of cooperation between degasifier and feed pump, on dynamics of process of thermal water degassing. The transmittances were appointed and stability conditions were determined.