

Влияние на разтворимостта на въздуха във водата върху разпределението на енергията на центробежна помпа 6Е32 при работа с водовъздушна смес

Климент Климентов

Effect of the solubility of the air in water on energy distribution in centrifugal pump 6E32 with air-water two-phase flow performance: In this paper is given methods for giving of solubility of air in water upon energy distribution in centrifugal pumps with air-water two-phase flow performance. Are given results from balance investigation of centrifugal pump 6E32 with and without giving of solubility of the air in water.

Key words: Centrifugal pump, two-phase flow, solubility, Henry's law.

ВЪВЕДЕНИЕ

При движение на вода в участъци с понижено налягане (по-ниско от атмосферното) се създават условия за отделяне на разтвореният във водата с въздух и увеличаване на газосъдържанието α на потока. Обратно, при достигане на зони с манометрично налягане, водата има възможност да разтвори още количества въздух, което също оказва влияние върху обемното газосъдържание на сместа.

За тези два случая по-долу е предложен метод за определяне на количеството на отделеният от водата или разтворения в нея въздух, както и определяне на дебита на неразтворения въздух след отчитане на тези количества.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Методика за отчитане на разтворимостта на въздуха във водата при определяне на обемното газосъдържание на сместа

В общия случай разтвор се нарича хомогенна система, състояща се от две или повече химически чисти вещества. Разтвора се характеризира с равномерно разпределение на молекулите или атомите на всички съставляващи разтвора компоненти в целия му обем. Ако процесът на образуване на разтвора не е съпроводен от изменение на обема и топлинни ефекти, то такъв разтвор се нарича идеален [2].

Когато моларната концентрация на разтворителя n'_L е значително по-висока от тази на разтвореното вещество n'_G , разтвора може да се счита за идеален:

$$n'_L = (2 \div 5) \cdot 10^3 \cdot n'_G. \quad (1)$$

Повечето течности, транспортирани от центробежни помпи представляват сами по себе си разтвори, в които разтворител се явяват течностите, а разтворените вещества са газове. Газовете могат да се разтворят в течността по време на нейното получаване, транспортиране или съхранение. Тъй като за повечето транспортирани от центробежни помпи течности е в сила условието (1), по-нататък ще считаме тези течности за идеални разтвори. За такива разтвори при равновесни условия моларната концентрация на i -тият разтворен в течността газ може да се определи по закона на Хенри [2]:

$$n'_{Gi} = n''_{Gi} \cdot p \cdot \kappa = p_i \cdot \kappa, \quad (2)$$

където: параметрите с „прим“ се отнасят за течната фаза (разтвореният във водата въздух), а със „секонд“ – за газовата (неразтворен въздух); P е абсолютното

налягане в системата, Pa ; $\kappa = \kappa(p, T)$ - коефициент на Хенри, $\frac{kmol}{kmol \cdot Pa} = Pa^{-1}$. При наляганя не по-високи от $(1,5 - 2,0)MPa$ може да се счита, че $\kappa = \kappa(T)$; p_i е

парциалното налягане на i -тият газ. При равновесни условия то е равно на налягането на насищане на течността с този газ p_{Hi} и се определя по формулата:

$$p_i = n_{Gi}'' \cdot p \quad (3)$$

Според закона на Далтон:

$$p = p_{HП} + \sum p_i = p_{HП} + \bar{p} \quad (4)$$

където: $p_{HП}$ е налягането на наситените пари на течността, а $\bar{p} = p - p_{HП}$ е сума от парциалните налягания на всички газове.

При насищане на течността само с един газ $p_i = \bar{p}$.

Количеството на разтворения във водата въздух при свободното й ниво в резервоара е определено след приемането, че разтворът в това сечение е наситен, т.е. водата е разтворила максимално възможното количество въздух при съответните условия – температура и налягане. От закона на Хенри (2) следва, че моларната концентрация на въздуха, разтворен във водата в това сечение е:

$$n'_G = \kappa(T) \cdot p_G = \kappa(T) \cdot [p - p_{HП}(T)] \quad (5)$$

Тук $p_G = p - p_{HП}(T)$ е парциалното налягане на въздуха в разтвора, а $p_{HП}(T)$ е налягането на наситените пари на водата при съответната температура. В случай, че налягането върху свободната повърхност на водата е атмосферно, изразът (5) добива вида:

$$n'_G = \kappa(T) \cdot [p_{atm} - p_{HП}(T)] \quad (6)$$

При това налягане масовият дял на разтворения във водата въздух ще бъде [2]:

$$m'_G = \frac{n'_G \cdot M_G}{M} \quad (7)$$

Тук M_G е молекулната маса на въздуха, а M е молекулната маса на разтвора.

Доколкото $n'_L \cdot M_L \gg n'_G \cdot M_G$ и $n'_L \approx 1$, то $M \approx M_L$, където M_L е молекулната маса на водата. Тогава изразът (7) добива вида [2]:

$$m'_G = \frac{n'_G \cdot M_G}{M_L} = \kappa(T) \cdot [p_{atm} - p_{HП}(T)] \cdot \frac{M_G}{M_L}, \frac{kg \text{ въздух}}{kg \text{ вода}} \quad (8)$$

Отношението на обема на разтворения въздух към обема на водата, в който е разтворен ще бъде:

$$\frac{V_G^{p_{atm}}}{V_L} = \frac{\rho_L}{\rho_{G0}} \cdot m'_G = \kappa(T) \cdot \frac{\rho_L}{\rho_{G0}} \cdot [p_{atm} - p_{HП}(T)] \cdot \frac{M_G}{M_L}, \frac{m^3 \text{ въздух}}{m^3 \text{ вода}} \quad (9)$$

Тук ρ_{G0} е плътността на атмосферния въздух при конкретните атмосферни условия.

При определяне на количеството въздух, отделен от водата в сечение с налягане $p < p_{atm}$ се приема, че температурата $T = const$. Съгласно уравнение (9) обемът въздух, който водата може да разтвори при това налягане ще бъде:

$$\frac{V_G^{p < p_{atm}}}{V_L} = \kappa(T) \cdot \frac{\rho_L}{\rho_{G0}} \cdot [p - p_{HП}(T)] \cdot \frac{M_G}{M_L} \quad (10)$$

В този случай обемът на отделеният въздух от единица обем вода се получава, след като от уравнение (9) извадим (10):

$$\frac{V_G^{p_{atm}} - V_G^{p < p_{atm}}}{V_L} = \frac{\Delta V_G}{V_L} = \kappa(T) \cdot \frac{\rho_L}{\rho_{G0}} \cdot (p_{atm} - p) \cdot \frac{M_G}{M_L} \quad (11)$$

След умножаване на лявата и дясната части на (11) с $\frac{V_L}{\Delta t}$, се получава:

$$\frac{\Delta V_G}{\Delta t} = \kappa(T) \cdot \frac{\rho_L}{\rho_{G0}} \cdot \frac{M_G}{M_L} \cdot p_B \cdot \frac{V_L}{\Delta t}, \quad (12)$$

където: Δt е периодът от време за преминаване на обемът V_L през разглежданото сечение.

От уравнение (12) се вижда, че дебитът на неразтворения въздух в това сечение ще се увеличи с:

$$\Delta Q_G = \kappa(T) \cdot \frac{\rho_L}{\rho_{G0}} \cdot \frac{M_G}{M_L} \cdot p_B \cdot Q_L, \quad (13)$$

където $p_B = p_{atm} - p$ е вакуумът в разглежданото сечение, а Q_L е дебитът на водата.

Аналогично на (10) за обемът въздух, разтворен в единица обем вода в сечение с налягане $p > p_{atm}$ се получава:

$$\frac{V_G^{p > p_{atm}}}{V_L} = \kappa(T) \cdot \frac{\rho_L}{\rho_{G0}} \cdot [p - p_{H\Pi}(T)] \cdot \frac{M_G}{M_L}. \quad (14)$$

Тогава обемът на разтворения допълнително въздух в единица обем вода се получава след изваждане на уравнение (9) от уравнение (14):

$$\frac{V_G^{p > p_{atm}} - V_G^{p_{atm}}}{V_L} = \frac{\Delta V_G}{V_L} = \kappa(T) \cdot \frac{\rho_L}{\rho_{G0}} \cdot (p - p_{atm}) \cdot \frac{M_G}{M_L}. \quad (15)$$

Аналогично на (13), се получава стойността, с която дебитът на неразтворения въздух ще намалее в това сечение:

$$\Delta Q_G = \kappa(T) \cdot \frac{\rho_L}{\rho_{G0}} \cdot \frac{M_G}{M_L} \cdot p_M \cdot Q_L, \quad (16)$$

където: $p_M = p - p_{atm}$ е манометричното налягане в разглежданото сечение.

Привеждането на дебита ΔQ_G към условията в съответната точка става, чрез уравнението за непрекъснатост на газовата фаза:

$$\Delta Q_{Gi} = \frac{\rho_{G0}}{\rho_{Gi}} \cdot \Delta Q_G, \quad (17)$$

където: ΔQ_{Gi} е произчисленият дебит на газовата фаза в разглежданата точка, а ρ_{Gi} е плътността на въздуха в тази точка.

Влияние на разтворимостта на въздуха във водата върху показателите на центробежна помпа при работа с двуфазна смес от вода и въздух

Влиянието на разтворимостта на въздуха във водата е оценено след съставяне баланса на помпа 6Е32 по методики с и без отчитане на разтворимостта [1,3].

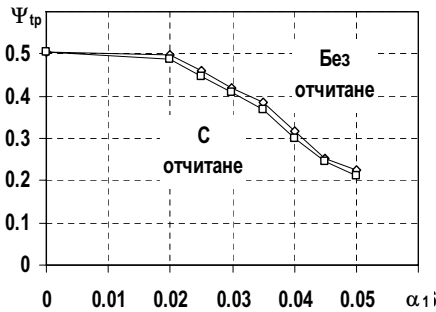
Предложени са резултати за това влиянието върху зависимостите $\Psi_{tp} = f(\alpha_1)$, $h_{imp} = f(\alpha_1)$ и $\eta_{tp} = f(\alpha_1)$, където Ψ_{tp} е безразмерният напор на помпата при работа с двуфазна смес от вода и въздух, h_{imp} са безразмерните хидравличните загуби в

работното колело на помпата, $\eta_{тр}$ е коефициентът на полезно действие на помпата и α_1 е относителното газосъдържание при входа на работното колело.

Разликата Δ , пресметната по формулата:

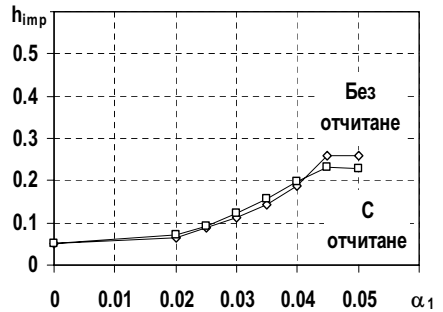
$$\Delta = \frac{\Psi_{\text{без отчитане}} - \Psi_{\text{с отчитане}}}{\Psi_{\text{без отчитане}}} \cdot 100 \% \quad (18)$$

също е показана графично в зависимост от газосъдържанието α_1 .



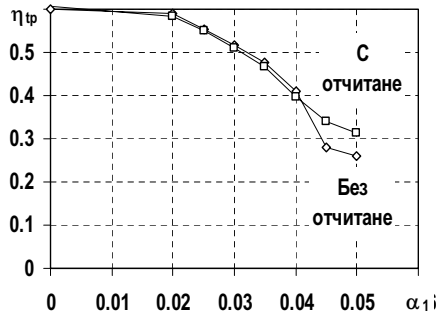
Фиг.1

Зависимост на напора на помпа 6Е32 от газосъдържанието с и без отчитане на разтворимостта на въздуха във водата



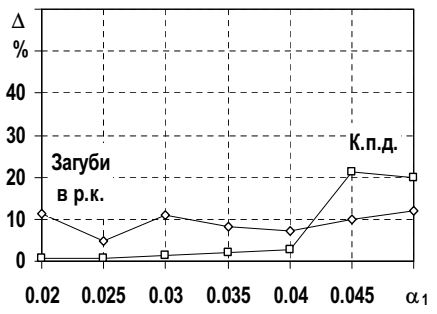
Фиг.2

Зависимост на загубите в работното колело на помпа 6Е32 от газосъдържанието с и без отчитане на разтворимостта на въздуха във водата



Фиг.3

Зависимост на к.п.д. на помпа 6Е32 от газосъдържанието с и без отчитане на разтворимостта на въздуха във водата



Фиг.4

Относителна разлика на хидравличните загуби в работното колело и к.п.д. на помпа

Резултатите показват най-съществено влияние на разтворимостта върху определяне на загубите в работното колело и к.п.д. на помпата. Разликата в к.п.д. запазва относително ниска постоянна стойност до достигане на $\alpha_1 = 4 \%$, след което нараства до 20% при достигане на критична стойност на газосъдържанието.

Разликата в хидравличните загуби се колебае около стойност от 10 % в целият диапазон до настъпване на срив в работата на помпата.

Това показва, че освен газосъдържанието, върху показателите на центробежните помпи с двуфазна смес от вода и въздух косвено влияние оказва и стойността на налягането пред входа на работното колело

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработена е методика за отчитане на разтворимостта на въздуха във водата при определяне на обемното газосъдържание на двуфазна смес от вода и въздух. С помощта на тази методика е съставен балансът на мощността на центробежна помпа 6E32 с и без отчитане на разтворимостта на въздуха във водата. Резултатите показват, че разтворимостта оказва най-голямо влияние върху загубите в работното колело и к.п.д. на помпата. Това означава, че върху показателите ѝ при работа с двуфазна смес от вода и въздух оказва влияние и налягането пред входа на работното колело.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Климентов, К. Методика за балансови изследвания на центробежни помпи при работа с водо-въздушна смес. – списание „Енергетика”, бр.4, 2006 г.

[2] Петров, В., В. Чебаевский. Кавитация в высокооборотных лопастных насосах. – М., „Машиностроение”, 1982.

[3] M. Conde Engineering. Thermophysical properties of humid air. Models and background., Zurich, 2007.

За контакти:

Ст. ас. Климент Климентов, Катедра “Топлотехника, хидро и пневмотехника”, Русенски университет “Ангел Кънчев”, тел.: 082/888-581, e-mail: KKlimentov@ru.acad.bg

Докладът е рецензиран.