

Моделиране характеристиките на центробежни помпи при работа с водо-въздушна смес

Климент Климентов, Генчо Попов, Борис Костов

Modeling the characteristics of centrifugal pumps when they work with air-water two-phase mixture: In this paper a methodology of recalculating the characteristics of different centrifugal pumps working with air-water two-phase mixtures have been presented. The coefficients used in recalculating of both the characteristics of the head and coefficient of efficiency for a centrifugal pump whose specific speed $n_q=33,6 \text{ min}^{-1}$ have been determined. Also, a relation between the pump's head, void fraction, and the liquid phase's flow rate, when the pump works with air-water two-phase mixture, have been found.

Key words: Centrifugal pumps, void fraction, two-phase flow.

ВЪВЕДЕНИЕ

В много отрасли на промишлеността, енергетиката и селското стопанство се срещат двуфазни смеси от вода и неразтворен въздух. За транспорт на такъв вид смеси се използват основно турбопомпи. За прогнозно определяне работните режими на помпените уредби при работа в такива условия, е необходимо да се познават характеристиките както на помпите, така и на тръбните системи. Известно е, че работните характеристики на турбопомпите с общо предназначение, при работа с водо-въздушни смеси се различават значително от характеристиките им при работа с чиста вода. В световен мащаб са разработени множество математични модели за движение на двуфазни смеси [1], както и за прогнозиране показателите на центробежни помпи при транспорт на двуфазни смеси от течност и газ [2]. Сложният характер на процесите, протичащи в работното колело на машината при тези условия на работа, налага употребата на сложен математически апарат в процеса на моделиране. Това затруднява прилагането на този вид модели в практиката. В [5] Gulich предлага опростена методика за преизчисляване характеристиките на центробежни помпи при работа с двуфазна смес от течност и газ, с помощта на опитно получени коефициенти. В настоящата работа, с помощта на тази методика, са определени коефициентите за преизчисляване характеристиките на центробежна помпа с общо предназначение и специфична честота на въртене $n_q = 33,6 \text{ min}^{-1}$, при работа с двуфазна смес от вода и въздух.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Методиката, предложена от Gulich в [5], за преизчисляване характеристиките на центробежни помпи при работа с двуфазни смеси от течност и газ, се състои от следните основни стъпки:

1. Построяват се опитно:

- зависимост на коефициента на напор ψ_L от коефициента на дебит φ - $\psi_L = f(\varphi)$, при работа на помпата с чиста течност;
- зависимост на коефициента на полезно действие на помпата (к.п.д.) η_L от коефициента на дебит φ - $\eta_L = f(\varphi)$, при работа на помпата с чиста течност;
- зависимост на коефициента на напор ψ_{TP} от коефициента на дебит φ - $\psi_{TP} = f(\varphi)$, при работа на помпата със смес, при различни стойности на обемната концентрация на газовата фаза α ;
- зависимост на к.п.д. на помпата η_{TP} от коефициента на дебит φ - $\eta_{TP} = f(\varphi)$, при работа на помпата със смес, при различни стойности на обемната концентрация на газовата фаза α .

Коефициентите на напора и дебита се пресмятат по зависимостите:

$$\psi_L = \frac{g \cdot H_L}{u_2^2}, \quad \psi_{TP} = \frac{g \cdot H_{TP}}{u_2^2} \quad (1)$$

$$\varphi = \frac{Q_L}{\pi \cdot b_2 \cdot D_2 \cdot u_2}, \quad (2)$$

където: H_L , [m] е напорът на помпата при работа с чиста вода; H_{TP} , [m] - напорът на помпата при работа с двуфазна смес от течност и газ; Q_L , [m³/s] - обемният дебит на течната фаза; b_2 , [m] - ширината на междулопатъчния канал при изхода на работното колело; D_2 , [m] - външният диаметър на работното колело; $u_2 = \frac{\pi \cdot n \cdot D_2}{60}$, [m/s] - преносната скорост при изхода на работното колело; n , [min⁻¹] - честотата на въртене на помпата.

Обемната концентрация на газовата фаза се определя по зависимостта:

$$\alpha = \frac{Q_G}{Q_G + Q_L}, \quad (3)$$

където Q_G , [m³/s] е обемният дебит на газовата фаза.

2. Изчисляват се коефициентите:

- за преизчисляване на напора:

$$k_\psi = \frac{\psi_{TP}}{\psi_L} \quad (4)$$

- за преизчисляване на к.п.д.:

$$k_\eta = \frac{\eta_{TP}}{\eta_L} \quad (5)$$

при различни стойности на обемната концентрация α и постоянен безразмерен дебит φ .

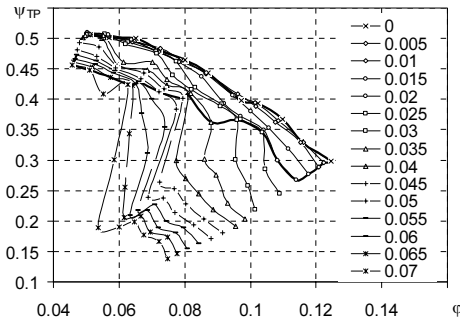
С помощта на получените коефициенти е възможно да се определят приблизително характеристиките на помпа със същата конструкция и подобна специфична честота на въртене n_q .

Обект на изследване в настоящата работа е центробежна помпа с общо предназначение 12E20. Показателите на машината при номинален режим и работа с вода са: дебит $Q_{L,НОМ} = 0,012 \text{ m}^3/\text{s}$, напор $H_{L,НОМ} = 20 \text{ mH}_2\text{O}$ при честота на въртене $n = 2900 \text{ min}^{-1}$. Специфичната честота на въртене на помпата е:

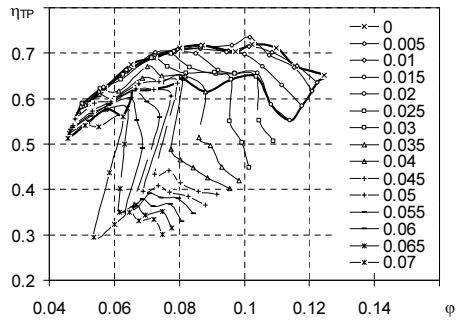
$$n_q = n \cdot \frac{\sqrt{Q_{L,НОМ}}}{H_{L,НОМ}^{0,75}} = 2900 \cdot \frac{\sqrt{0,012}}{20^{0,75}} = 33,6 \text{ min}^{-1}. \quad (6)$$

На фигури 1 и 2 са показани коефициентните характеристики $\psi_{TP} = f(\varphi)$ и $\eta_{TP} = f(\varphi)$ на помпата при работа с водо-въздушна смес. Те са получени опитно, по методика представена в [3].

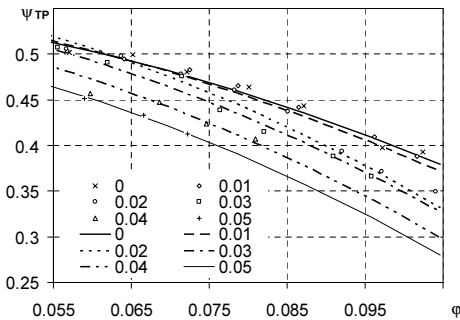
От показаното на фигурите става ясно, че при обемни концентрации на въздуха $\alpha > 0,05$, настъпва срив в работата на помпата, който се изразява в скокообразен спад на показателите ψ_{TP} и η_{TP} . Този тип изменение на характеристиките $\psi_{TP} = f(\varphi)$ и $\eta_{TP} = f(\varphi)$ е констатиран от редица автори, изследвали работата на центробежни помпи с общо предназначение [5]. Особената Z – образна форма на кривите $\psi_{TP} = f(\varphi)$ и $\eta_{TP} = f(\varphi)$ се дължи на явления, подобни на тези, които възникват при работа на помпата в условия на кавитация.



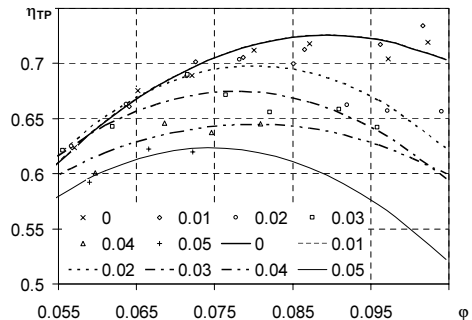
Фиг.1. Зависимост на коефициента на напор ψ_{TP} от коефициента на дебит ϕ при различни стойности на α



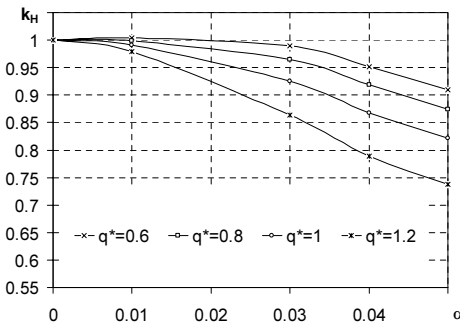
Фиг.2. Зависимост на к.п.д. η_{TP} от коефициента на дебит ϕ при различни стойности на α



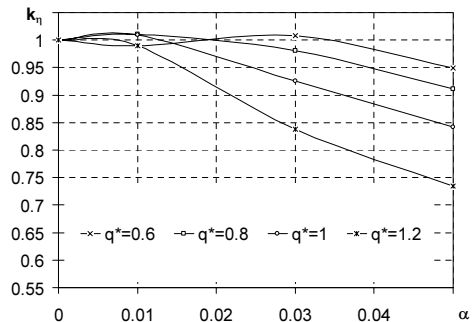
Фиг.3. Зависимост на коефициента на напор ψ_{TP} от коефициента на дебит ϕ при различни стойности на α



Фиг.4. Зависимост на к.п.д. η_{TP} от коефициента на дебит ϕ при различни стойности на α



Фиг.5. Зависимост на коефициента k_H от обемната концентрация α при различни стойности на q^*



Фиг.6. Зависимост на коефициента k_{η} от обемната концентрация α при различни стойности на q^*

На фигури 1 и 2, с плътна дебела линия, е маркирана границата на областта, в която е препоръчително да се експлоатира помпата, при работа с водо-въздушна смес. В границите на тази област, кривите $\psi_{TP} = f(\phi)$ и $\eta_{TP} = f(\phi)$ имат стабилен характер и подлежат на моделиране. След обработка на опитните данни в средата на програмата MATLAB, зависимостите $\psi_{TP} = f(\phi)$ са апроксимирани с уравнения от

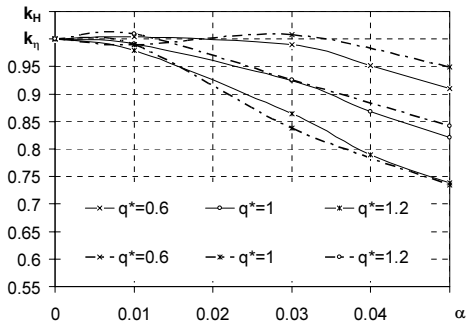
вида:

$$\psi_{TP} = a - b \cdot \varphi^2, \quad (7)$$

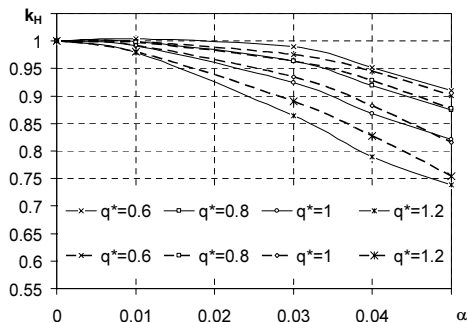
а зависимостите $\eta_{TP} = f(\varphi)$, с уравнения от вида:

$$\eta_{TP} = c + d \cdot \varphi + e \cdot \varphi^2, \quad (8)$$

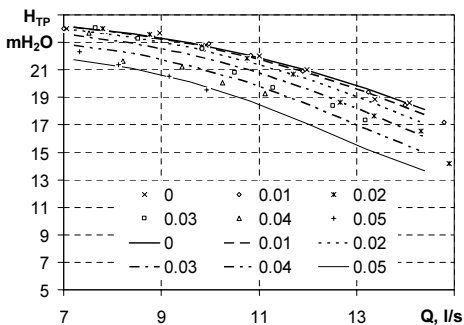
по подобие на извършеното в [4]. Тук **a**, **b**, **c**, **d** и **e** са опитно получени коефициенти. Резултатите от апроксимацията са показани на фигури 3 и 4, където с точки са маркирани опитните данни, а с различни линии са показани зависимостите, получени по уравнения (7) и (8), при различни стойности на обемната концентрация α .



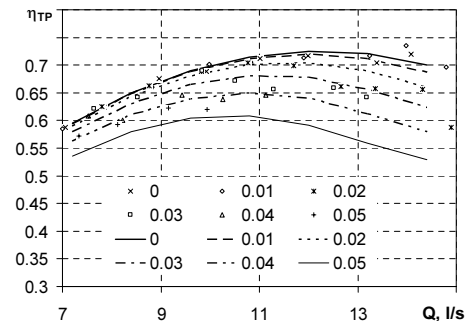
Фиг.7. Зависимост на коефициентите k_H и k_n от обемната концентрация α при различни стойности на q^*



Фиг.8. Зависимост на коефициента k_H от обемната концентрация α при различни стойности на q^*



Фиг.9. Преизчислени характеристики $H_{TP}=f(Q)$ на помпа 12E20 при различни стойности на обемната концентрация α



Фиг.10. Преизчислени характеристики $\eta_{TP}=f(Q)$ на помпа 12E20 при различни стойности на обемната концентрация α

С помощта на получените зависимости от вида (2) и (3) са пресметнати коефициентите k_H и k_n при различни стойности на обемната концентрация α и различни стойности на относителния дебит на течната фаза, определен по формулата:

$$q^* = \frac{Q_L}{Q_{L,НОМ}}. \quad (9)$$

На фигури 5 и 6 са показани графичните зависимости $k_H = f(\alpha)$ и $k_n = f(\alpha)$, получени при различни стойности на относителния дебит q^* . На фигура 7 тези зависимости са изобразени в обща координатна система, от което се вижда, че те имат идентичен характер (с прекъснати линии са изобразени зависимостите

$k_H = f(\varphi)$). По тази причина е прието, че $k_H = k_{\eta}$ при всички стойности на α и q^* .

След обработка на данните за коефициента k_H е получена зависимост $k_H = F(\alpha; q^*)$, чиито общ вид е:

$$k_H = 1 - f_1(q^*) \cdot \alpha^{f_2(q^*)}. \quad (10)$$

Функциите $f_1(q^*)$ и $f_2(q^*)$ от уравнение (5) имат вида:

$$f_1(q^*) = k \cdot q^{*m} + p \quad (11)$$

$$f_2(q^*) = r \cdot q^{*2} + s. \quad (12)$$

Опитните коефициенти k , m , p , r и s имат следните стойности: $k = 267,6$
 $m = -1,21$ $p = -186,6$ $r = 3,056$ $s = -1,024$.

С помощта на полученото уравнение (10) са построени графичните зависимости $k_H = f(\varphi)$, показани на фиг. 8 с прекъснати линии, както и преизчислените характеристики на помпата $H_{TP} = f(Q)$ и $\eta_{TP} = f(Q)$, показани на фигури 9 и 10 с различни линии. С точки на фигури 9 и 10 са маркирани данните, получени опитно. От фигурите се вижда сравнително добро съвпадение на опитните данни с преизчислените характеристики. Това позволява получената зависимост да се използва за приблизително определяне показателите на центробежни помпи с $n_q \approx 30 \text{ min}^{-1}$, при работа с двуфазна смес „вода – въздух“ в границите $0 \leq \alpha \leq 0,05$ и $0,6 \leq q^* \leq 1,2$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Получената зависимост (10) дава възможност за приблизително определяне показателите на центробежни помпи с $n_q \approx 30 \text{ min}^{-1}$, при работа с двуфазна смес „вода – въздух“ в границите $0 \leq \alpha \leq 0,05$ и $0,6 \leq q^* \leq 1,2$.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Желева И. Винтовое движение дисперсной смеси в трубе переменного радиуса Всб. “Механика V Национален конгрес – Варна, България, 1985”, 600 – 603, 1985.
- [2] Климентов Кл. Изследване на центробежни помпи при работа с водо-въздушна смес. Дисертация за получаване на НОС „Доктор“, Русе, 2010.
- [3] Климентов Кл. Методика за балансови изследвания на центробежни помпи при работа с водо-въздушна смес. Енергетика, бр.4, Май-Юни, 2006г.
- [4] Климентов Кл., Г. Попов, Кр. Тужаров. Уравнения на характеристиките при центробежни помпи. . Сп. Енергетика, бр. 6-7, септември – октомври 2008.
- [5] Gulich J. F, Centrifugal pump – 2-nd edition, Springer, 2010.

За контакти:

Доц. д-р Генчо Попов, Катедра “Топлотехника, хидро и пневмотехника”, Русенски университет “Ангел Кънчев”, тел.: 082 888 580, e-mail: gspopov@uni-ruse.bg

Гл. ас. д-р Климент Климентов, Катедра “Топлотехника, хидро и пневмотехника”, Русенски университет “Ангел Кънчев”, тел.: 082 888 581, e-mail: kklementov@uni-ruse.bg

Маг. инж. Борис Костов, Редовен докторант в катедра “Топлотехника, хидро и пневмотехника”, Русенски университет “Ангел Кънчев”, тел.: 082 888 582, e-mail: bkostov@uni-ruse.bg