

Динамика на ролките на ролкова помпа Част II. Числено изследване динамиката на ролките

Юлиян Ангелов, Ивайло Николаев

Dynamics of the rolls of a roller pump, Part II. Numerical study of the dynamics of rolls: The paper presents the results of studies on the dynamics of the rolls of a roller pump. Using a deterministic mathematical model numerical experiments are conducted to determine the variation of the forces acting on the rolls. The changes in angular acceleration and angular velocity of the rolls in operation of the pump fluids with different viscosities are studied. The results are graphically presented and analyzed.

Keywords: roller pump, roll, generalized mathematical model, numerical experiments, results.

ВЪВЕДЕНИЕ

Целта на втората част на разработката е с формулирания механо-математичен модел в част първа да се проведат числени изследвания на пълното силово натоварване на ролката и характера на движението ѝ при работа на помпата с течности с различен вискозитет.

Обобщен математичен модел

Математичният модел (9), (10), (12) и (13) от Част 1 на разработката може да се представи обобщено във вида

$$\Psi(\mathbf{d}(\varphi), \mathbf{p})=0, \varphi \in [0 : n(2\pi)], n \in \mathbf{Z}^+, \mathbf{d}=\{\mathbf{f}, \mathbf{s}\}, \mathbf{s}=\{\varepsilon, \omega_p\},$$

$$\mathbf{f}=\{G, F, N_1, T_1, N_2, T_2, M_s, M^{(\Phi)}, \Phi, F_k\}, \quad (1)$$

$$\mathbf{p}=\{m, z, e, R, r, l, r_p, g, \omega, \mu_1, \mu_2, k, \Delta p\},$$

където $\mathbf{d}=\{\mathbf{f}, \mathbf{s}\}$ е вектор, съставен от вектора на състоянието \mathbf{s} и вектора на натоварването \mathbf{f} .

Векторът на състоянието $\mathbf{s}=\{\varepsilon, \omega_p\}$ съдържа ъгловата скорост и ъгловото ускорение на ролката, а векторът на натоварването $\mathbf{f}=\{G, F, N_1, T_1, N_2, T_2, M_s, M^{(\Phi)}, \Phi, F_k\}$ е формиран от силите, приложени върху ролката. Величините във вектора \mathbf{d} се определят еднозначно от вектора на параметрите на модела $\mathbf{p}=\{m, z, e, R, r, l, r_p, g, \omega, \mu_1, \mu_2, k, \Delta p\}$ и са функция на ъгъла на завъртане на ротора φ .

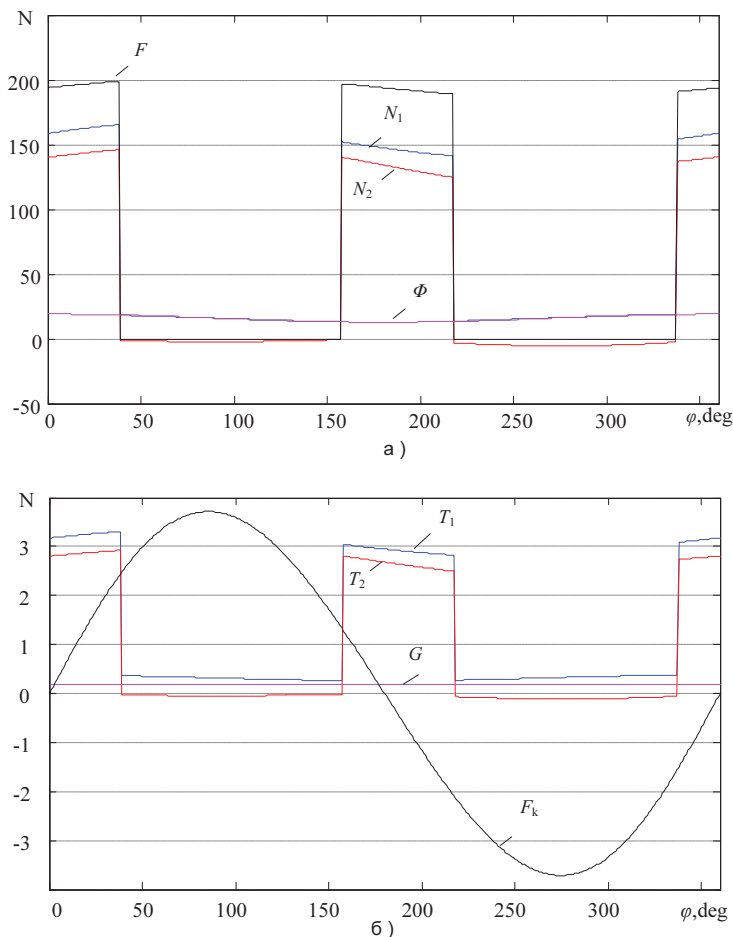
Числени експерименти

С оглед съпоставка на резултатите, както и разширяване на кръга от решавани задачи, числените експерименти са проведени при условията на изследванията в [1], където ролковата помпа е с параметри: $g=9.81 \text{ m/s}^2$, $z=6$, $R=0.045 \text{ m}$; $r=0.0415 \text{ m}$; $r_p=0.009 \text{ m}$; $l=0.0381 \text{ m}$; $e=0.003 \text{ m}$, $m=0.02 \text{ kg}$, $\omega=500 \pi \text{ rad/s}$, $\mu_1=\mu_2=0.02$, $k=0.01 r_p \text{ Nms/rad}$, $\Delta p=0.4 \text{ MPa}$.

Пълно изследване на силите, действащи върху ролката за един оборот на ротора е представено на фиг.1, а получените резултати потвърждават анализа направен в [1, 2]. На фиг.1 са показани графиките на силите разделени по-значимост на влиянието. В балансът на силите доминиращо е въздействието на силата от разликата в налягането F .

При навлизане и излизане в уплътнителните участъци тя предизвиква скокообразно изменение в реакциите на статора N_1 и T_1 и ротора N_2 и T_2 , съпроводено със смяна на точката на контакт със стените на роторния канал. Дискретизацията на процесите в модела показва, че в зависимост от скоростта на въртене на ротора нарастването на реакциите N_1 и N_2 става за продължителност на

времето от порядъка на $0,001 \div 0,01$ секунди и според теорията на удара такъв процес е ударно взаимодействие.

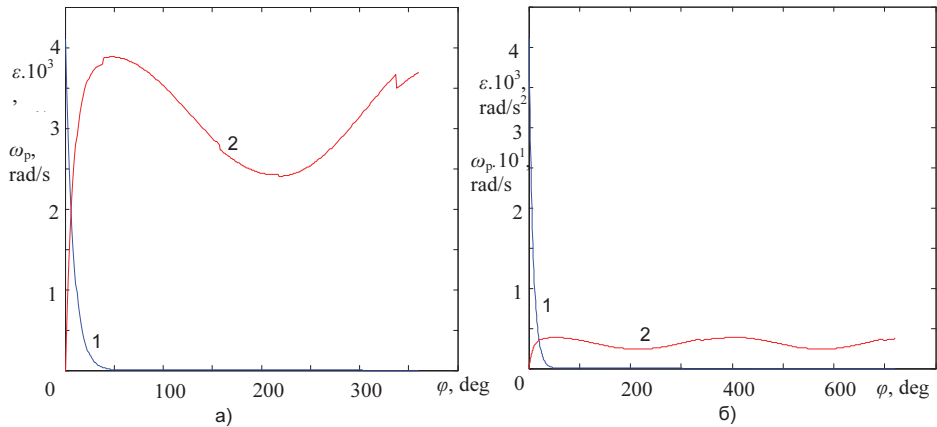


Фиг. 1 Изменение на силите действащи върху ролката в интервала $\varphi \in [0 : 2\pi]$:
 а) силата от разликата в налягането F , нормалните реакции на статора N_1 и ротора N_2 и инерционната сила Φ ;
 б) силите на триене между ролка-статор T_1 и ролка-ротор T_2 , силата на тежестта G и кориолисовата инерционна сила F_k .

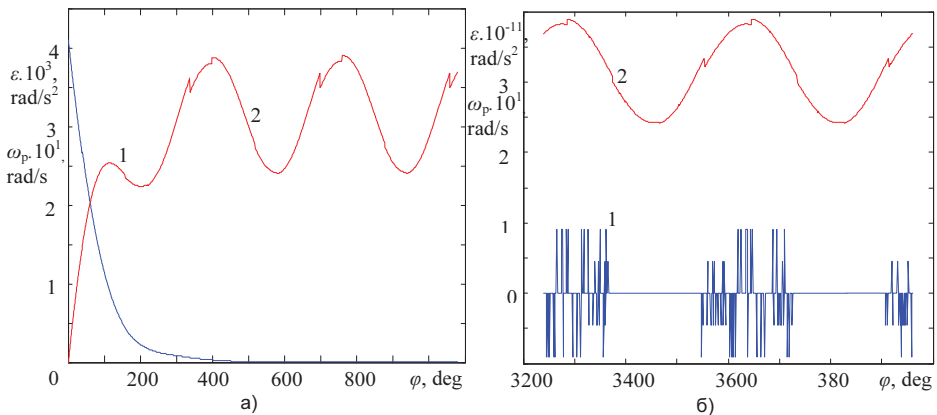
При хипотезата за идеална пластичност на удара, т.е. скоростта на отражение след удара е равна на нула, то при навлизане на ролката в уплътнителните участъци, относителната скорост на ударно взаимодействие между ролката и статора е от порядъка на $1,7 \text{ m/s}$, а на тази между ролката и ротора $0,8 \text{ m/s}$.

В смукателната и нагнетателната камери, най-съществено е влиянието на са инерционните сили Φ и F_k . Те са дефазирани периодични функции на положението, като кориолисовата е симетрично знаково променлива, а центробежната е с порядък

по-значима за натоварването на ролките. Най-несъществена е силата на теглото на ролката, което потвърждава установени зависимости в [1].

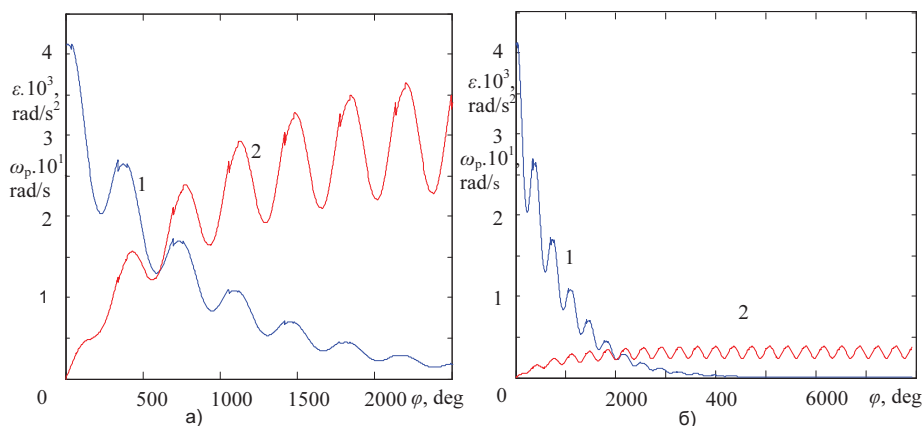


Фиг. 2 Ъглово ускорение 1 и ъглова скорост 2 на ролката при работа с високо вискозен флуид: а) преходен период; б) установен режим.



Фиг. 3 Ъглово ускорение 1 и ъглова скорост 2 на ролката при работа със средно вискозен флуид: а) преходен период; б) установен режим.

Изучаването на характера на движение на ролките е свързан с изследването на вектора $s = \{ \varepsilon, \omega_p \}$ – ъглова скорост и ъглово ускорение във функция на ъгъла на завъртане на ротора φ . То е проведено за три характерни случая на работа на помпата с различни по вискозитет флуиди и при нулеви начални условия – състояние на покой на ролката. Параметри на симулациите са съпротивителният коефициент на вискозно триене между ролка - работна среда k и коефициентите на триене при плъзгане между ролка - статор μ_1 и ролка - ротор μ_2 . Интервалите на $\varphi \in [0 : n(2\pi)]$, за които са проведени числените експерименти са различни и са според продължителността на изследваните процесите.



Фиг. 4 Ъглово ускорение 1 и ъглова скорост 2 на ролката при работа с ниско вискозен флуид: а) преходен период; б) установен режим.

В математичния модел мярката на коефициента на съпротивления е относителна спрямо радиуса на ролката $k = 0,01r_p$ Nms/rad, което съответства на съпротивителните свойства на средно вискозен флуид [3, 4]. Резултатите от този случай са представени на (фиг. 3). При състояние на покой и малки стойности на масовия инерционен момент на ролката, началните стойности на ъгловото ускорение са големи. Това води до бързо нарастване на ъгловата скорост на ролката, като тя достига максимална стойност още във втория оборот на ротора - в момента на навлизане в нагнетателната камера. Преходният процес е свързан с нарастването на средната ъглова скорост, която се установява още във втория оборот и е с големина 31 rad/s. След това изменението на скоростта става циклично в интервала $24 \div 38$ rad/s, с период 2π и фаза, съвпадаща с тази на центробежната инерционна сила Φ , като скокообразно намалява при навлизане в уплътнителните участъци и нараства при излизане от тях.

Продължителността на преходния период зависи от вискозитета на работната течност. За случая на високо вискозен флуид (фиг. 2) преходният процес приключва още в първия оборот, а поради създаването по-голямо вискозно съпротивление големината на средната скоростта на ролката намалява със същия порядък. При ниско вискозния флуид (фиг. 4) средната скорост се установява след шестия оборот.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Независимо от установените различия и в трите изследвани случая при фиксирана честота на въртене на ротора ролките извършват едностранно ротационно движение с периодично променлива ъглова скорост определена от центробежната инерционна сила и скокообразни неопределености при ударите с ротора и статора. Проведените изследвания позволяват да се получи по конкретна информация за неравномерността в динамиката на ролките при работа на помпата. Разработеният математичен модел и получените резултати за неравномерностите на процесите на работа на ролковите помпи поставят нови и интересни въпроси свързани с неравномерността на въртящия момент на ротора, което ще е обект на последващи разработки.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Бацов, Т. Г., Г. Попов, Ю. Ангелов. Модел за изследване на силите, действащи върху ролките на ролкова помпа. Списание "Механика на машините", Варна, година XIII, книга 1, 2005

[2] Попов, Г. С., П. Русев, И. Николаев. Изследване на силовото натоварване върху пластините и механичните загуби при еднодействащи пластинкови помпи. Сп. "Механика на машините" 39, кн. 1, Варна 2002, стр. 50-53.

[3] Попов, Г., Т. Бацов, П. Русев. Сравнителен анализ на енергетичните характеристики на ролкови помпи. Научни трудове на РУ "А. Кънчев", том 41, сер. 3.2, Русе 2004, стр. 132-136.

[4] Флоров, Е.С., Автономова, В. И. Васильев, Н. К. Никулин, П. И. Пластинин. Механические вакуумных насосы. Машиностроение, М., 1989.

За контакти:

гл. ас. д-р инж. Юлиан Ангелов, катедра „Техническа механика“, Русенски университет “Ангел Кънчев”, тел. 082-888 572, e-mail: julian@uni-ruse.bg

гл. ас. инж. Ивайло Николаев, катедра „Топлотехника, хидравлика и екология“, Русенски университет “Ангел Кънчев”, тел. 082-888 582, e-mail: nikolaev@uni-ruse.bg

Докладът е рецензиран.