

ОПРЕДЕЛЯНЕ ЕНЕРГИЙНАТА ЕФЕКТИВНОСТ НА ИЗПОЛЗВАНИ МЕТОДИ ЗА РЕГУЛИРАНЕ ПРОИЗВОДИТЕЛНОСТТА НА ЦЕНТРОБЕЖНИ ПОМПИ

Евтим Кърцелин¹, Румен Истилиянов², Николай Минев³, Йоана Младенова¹

¹ Минно-геоложки университет, "Св. Иван Рилски", София 1700, България

² Минно-геоложки университет, "Св. Иван Рилски", София 1700, България, E-mail: rgi@mgu.bg

³ "Асарел - Медет" АД, гр. Панагюрище

РЕЗЮМЕ. Изложена е методика за сравнителна оценка на разхода на електроенергия при изменение производителността на центробежните помпи при дроселно регулиране и честотно регулиране оборотите на асинхронния двигател, задвижващ помпата.

Ключови думи. Центробежни помпи, регулиране на производителност, енергийна ефективност.

DETERMINATION OF THE POWER EFFICIENCY OF METHODS USED FOR ADJUSTMENT THE EFFICIENCY OF ROTARY PUMPS

Evtim Kurtzelin¹, Roumen Istalianov¹, Nikolai Minekov², Ioana Mladenova¹

¹University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", Sofia, Republic of Bulgaria

²"Asarel-Medet" Ltd, Panagiyriste, Republic of Bulgaria

ABSTRACT. The article introduces a methodology for comparative evaluation of the electric power consumption at changing the centrifugal-type pump capacity through throttle control and frequency control of the induction motor speed, driving the pump.

Key words. Rotary pumps, adjustment of the efficiency, power efficiency

Въведение

Енергетиката на XX век ще се развива в две основни направления, а именно:

- развитие на енергетиката на основата на възобновяемите източници на енергия и нови технологии в областта на ядрената енергетика;
- развитие и усъвършенстване на технологичните процеси и техническите системи с цел намаляване на тяхната енергоемкост.

Един от основните критерии за качеството и нивото на технологичните процеси и техническите системи, използвани във всички сфери на човешката дейност през XXI век ще бъде свързан с тяхната енергоемкост. За по-съвършени и на по-високо ниво ще се приемат тези, които са с по-ниска енергоемкост.

Ето защо една изключително актуална задача пред съвременната наука е свързана с разработването на методи за изследване и енергиен анализ в резултат на който да се направи оценка до колко ефективно е използването на енергията, за да изпълни своите полезни функции – производство на продукция, преобразуване на енергия от един вид в друг, за осигуряване на комфорт или предоставянето на полезни услуги за човека.

В доклада е изложена методика за оценка разхода на електроенергия при изменение производителността на

центробежни помпи при дроселно регулиране и с честотно регулиране оборотите на асинхронния двигател, задвижващ помпата.

При постоянни обороти на задвижващия двигател, работната точка на помпената уредба в установен режим се определя от пресечната характеристика на помпата, съответстваща на тези обороти и характеристиката на напорния тръбопровод, към който е включена помпата.

Характеристиката на една центробежна помпа изразява зависимостта на напора H от производителността (разхода) Q , която с достатъчна степен на точност се представя в следния вид [3]:

$$H = H_{ом} \left(\frac{\omega}{\omega_{ном}} \right) C Q^2, \quad (1)$$

където $H_{ом}$ - напор на помпата при $Q = 0$ и $\omega = \omega_{ном}$;

$\omega_{ном}$ - номинални обороти на електродвигателя, задвижващ помпата;

$Q_{ном}$, $H_{ном}$ - съответно номинална производителност и напор на помпата;

C - конструкционна константа на помпата, която се определя от израза:

$$C = \frac{H_{ом} - H_{ном}}{Q_{ном}^2}.$$

Характеристиката на напорния тръбопровод [3] има следното аналитично представяне:

$$H = H_c + RQ^2, \quad (2)$$

където H_c - статичен напор (противоналягане), съответстващо на $Q = 0$ (затворена задвижка);

R - коефициент, характеризиращ съпротивлението на напорния тръбопровод и се определя с израза:

$$R = \frac{H_{OM} - H_{НОМ}}{Q_{НОМ}^2}$$

Характеристиките на използваните методи за регулиране на производителността на помпен агрегат и напорен тръбопровод са представени на фиг.1.

Мощността, която консумира двигателя на помпата се определя с израза:

$$P_i = \frac{P_{мех}}{\eta},$$

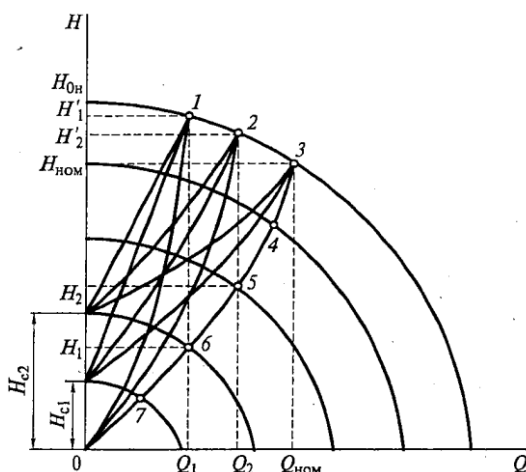
където $P_{мех}$ - мощността на вала на двигателя, задвижващ помпата;

η - КПД на двигателя.

Механичната мощност $P_{мех}$ се определя по формулата:

$$P_{мех} = M_c \cdot \omega,$$

където M_c - статичен съпротивителен момент на вала на двигателя.



Фиг.1. Характеристика на методи за регулиране на центробежни помпи: 1, 2, 3 - работни точки при дроселно регулиране на производителност; 4, 5, 6, 7 - работни точки при дроселно регулиране на производителността за сметка изменение на оборотите на двигателя, задвижващ помпата.

Дроселното регулиране производителността на центробежни помпи е основано на изменение съпротивлението на напорния тръбопровод. В този случай при $\omega = \omega_{НОМ} = \text{const}$ и при изменение съпротивлението на напорния тръбопровод, работната точка на механизма се премества по Q-H-характеристиката съответстваща на номиналните обороти на двигателя, в посока на намаляване на производителността до пресечната точка с новата характеристика на напорния тръбопровод (точка 1, 2, 3 на фиг. 1).

При електрически метод за регулиране производителността на помпения агрегат (честотно

регулиране оборотите на двигателя) работната точка се премества по неизменната характеристика на напорния тръбопровод (точки 4, 5, 6, 7 на фиг. 1). В този случай, с намаляване на производителността се намалява и необходимия напор, което води до намаляване на статичната мощност, необходима за работа на помпата със зададена производителност, в сравнение с дроселното регулиране.

Ще се анализира **КПД** на двигателя при различни методи за регулиране на производителността, без да се отчитат загубите в стоманата и загубите от тока на празен ход в двигателя.

При честотно управление на асинхронен двигател, осъществено при постоянство на абсолютното плъзгане се записва следният израз [4]:

$$\eta_1 = \frac{1}{1 + \frac{\omega_{НОМ}}{\omega} \cdot \frac{S_{НОМ}}{1 - S_{НОМ}} (1 + \alpha)},$$

където $S_{НОМ}$ - номинално хлъзгане на двигателя;

α - коефициент, който се определя с отношението на активните съпротивления на фазите на статора R_1 и ротора R_2 , т.е. $\alpha = R_1 / R_2$.

При дроселно регулиране производителността на помпения агрегат, когато $\omega = \omega_{НОМ} = \text{const}$, **КПД** на двигателя е постоянен и се изчислява по формулата:

$$\eta_1 = \frac{1 - S_{НОМ}}{\alpha S_{НОМ} + 1}.$$

За да се получат изчислителни изрази във функция от разхода, хлъзгането на двигателя е възможно да се изрази чрез производителността. За тази цел във формула (1) израза $(\omega / \omega_{НОМ})^2$ се заменя с израза $[(1 - S) / (1 - S_{НОМ})]^2$ и решавайки полученния израз съвместно с израз (2) спрямо S се получава следната формула:

$$S = 1 - (1 - S_{НОМ}) \sqrt{h_c + Q_*^2 (1 - h_c)} = 1 - (1 - S_{НОМ}) A \quad (3)$$

където $h_c = \frac{H_c}{H_{ОН}}$;

$$Q_* = Q_{НОМ};$$

$$A = \sqrt{h_c + Q_*^2 (1 - h_c)}.$$

Зависимостта на изразения в относителни единици момент на турбомеханизма при неговата работа на напорен тръбопровод с постоянни параметри има следния вид:

$$\mu = \mu_{oc} \left(\frac{\omega}{\omega_{НОМ}} \right)^2 + (1 - \mu_{oc}) \frac{\omega}{\omega_{НОМ}} \sqrt{\frac{(\omega / \omega_{НОМ})^2 - h_c}{1 - h_c}} \quad (4)$$

където μ - относителен момент на вала на турбомеханизма, определен с отношението

$$\mu = \frac{M}{M_{с max}};$$

$M_{с max}$ - максимален статичен момент на вала на механизма, който се преодолява при $\omega = \omega_{НОМ}$;

μ_{oc} - статичен момент на вала (M_{oc}) при $Q_* = 0$ (затворена задвижка), изразен в относителни единици,
 $\mu_{oc} = M_{oc} / M_{c.пвх}$.

Изразите (3) и (4) позволяват да се определят момента, КПД, скоростта и мощността, консумирана от мрежата във функция от производителността на помпата при зададен статичен напор (противоналягане). За универсално използване на изчислителните формули е целесъобразно да се определи мощността в относителни единици: $P_* = P_1 / P_6$, като за базисна мощност P_6 се приеме максималната статична мощност на вала на двигателя $P_{c.пвх}$ при $\omega = \omega_{ном}$, т.е. $P_6 = P_{c.пвх} = M_{c.пвх} \cdot \omega_{ном}$.

Ако се приеме, че $M_{c.пвх} = M_{ном}$ ($M_{ном}$ - номинален момент на двигателя, $M_{ном} = P_{ном} / \omega_{ном}$), то за базовата мощност се получава $P_6 = P_{ном}$.

Изразите, за изчисляване на консумираната мощност P_* при различните методи за регулиране производителността на центробежни помпи приемат следния вид:

• при дроселно регулиране

$$P_{1*} = \frac{[\mu_{oc} + (1 - \mu_{oc})Q_*](1 + \alpha S_{ном})}{1 - S_{ном}} \quad (5)$$

• при честотно регулиране

$$P_{1*} = [\mu_{oc} A^3 + (1 - \mu_{oc}) A^2 Q_*] \cdot \left[1 + \frac{S_{ном}(1 + \alpha)}{(1 - S_{ном}) A} \right] \quad (6)$$

Изразите (5) и (6) позволяват да се изчисляват консумираната от помпата мощност при дроселно и честотно регулиране в зависимост от производителността Q_* и да се направи сравнителна оценка между разглежданите методи на регулиране. Както следва от (5) и (6), при дроселно регулиране и зададена стойност на производителността Q_* консумираната мощност P_* зависи от μ_{oc} , α , $S_{ном}$, а при честотно регулиране консумираната мощност P_* зависи от h_c , μ_{oc} , α , $S_{ном}$. Задавайки тези параметри за конкретните условия на работа на помпения агрегат и избрания тип двигател или за серия двигатели, е възможно да се направи изчисляването на стойностите:

$$P_* = f(Q_*).$$

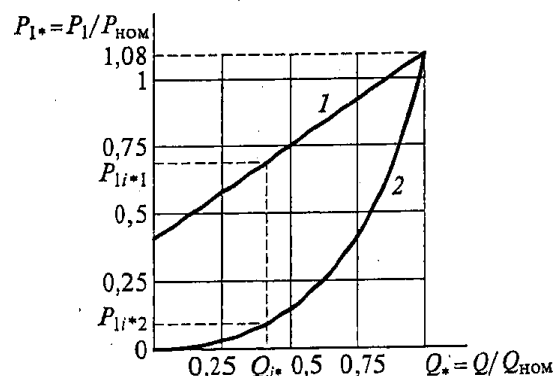
В Таблица 1. са приведени относителни стойности за консумираната мощност P_* във функция от относителния разход Q_* (производителност) за дроселно и честотно регулиране при $\mu_{oc} = 0,4$; $\alpha = 1$, $S_{ном} = 0,06$.

Използвайки формули (5) и (6) е възможно да се получат определени графически зависимости, които да илюстрират икономията на електрическа енергия при използване на честотно регулиране оборотите на асинхронния двигател, задвижващ центробежната помпа, в сравнение с дроселното регулиране. На фиг.2 са представени графическите зависимости $P_* = f(Q_*)$ при дроселно и честотно регулиране производителността на центробежна помпа, построени от Таблица 2.

Таблица 1.

Консумираната мощност от електрозадвижването на центробежна помпа при дроселно и честотно регулиране в зависимост от производителността и статичния напор.

Разход Q_*	P_*					
	Дроселно регулиране	Честотно регулиране $h_c =$				
		0	0,2	0,4	0,6	0,8
0	0,43	0	0,04	0,11	0,2	0,31
0,2	0,56	0,01	0,08	0,18	0,3	0,42
0,4	0,69	0,08	0,16	0,28	0,41	0,55
0,6	0,82	0,24	0,35	0,45	0,58	0,7
0,8	0,95	0,56	0,64	0,71	0,8	0,87
1	1,08	1,08	1,08	1,08	1,08	1,08



фиг. 2. Графическо представяне на зависимостта $P_{1*} = f(Q_*)$ при дроселно (крива 1) и честотно (крива 2) регулиране

Задавайки производителност (Q_*) е възможно да се изчисли консумираната мощност при дроселно (P_{1*1}) и честотно регулиране (P_{1*2}) и да се определи икономията на консумирана мощност:

$$\Delta P_{1*1} = P_{1*1} - P_{1*2},$$

което позволява да се изчислява намаляването на годишните разходи по стойността на електроенергията при честотно регулиране на асинхронните двигатели, задвижващи центробежните помпи в сравнение с дроселното регулиране.

Както следва от данните представени в Таблица 1, с увеличаване на статичния напор h_c се намалява икономията на енергия при използване на честотното регулиране. Все пак, при произволни стойности на h_c системата за технологична автоматизация осигурява поддържането на постоянен напор H в системата, независимо от производителността (разхода), което позволява да се избегне ненужното налягане, присъщо на дроселното регулиране. Този показател е изключително съществен, тъй като в редица технологични системи, които в промишлеността и комуналната сфера, които нормално не се намират в аварийно състояние, всяка излишна атмосфера налягане (равняващо се на 10 m воден стълб)

предизвиква допълнително $2 \div 7$ % загуба на вода за сметка на утечките [4].

За оценка влиянието на началния статичен момент (μ_{oc}) върху консумираната мощност в таблица 2. е представена зависимостта $P_{*} = f(Q_{*})$ за дроселно и честотно регулиране при $\mu_{oc} = 0$ и $h_c = 0$.

Таблица 2.

Консумирана мощност от електрозадвигването на центробежна помпа при различни методи за регулиране производителността на помпата и при начален статичен момент $\mu_{oc} = 0$ и статичен напор на водата $h_c = 0$.

Метод на регулиране	Q_{*}					
	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1
P_{*} при дроселно регулиране	0	0,22	0,44	0,66	0,88	1,08
P_{*} при честотно регулиране	0	0,01	0,08	0,24	0,56	1,08

При сравнението на данните в Таблица 1. и Таблица 2. следва извода, че при намаляване на μ_{oc} , икономията на

Препоръчана за публикуване от кат. „Електрификация на минното производство”, МЕМФ

консумираната мощност при използване на честотно – регулируемо електрозадвигване се намалява.

Приведените изрази (5) и (6) са получени при условието, че **КПД** на центробежната помпа е равен на единица и остава постоянен при всички режими на работа. На практика обаче **КПД** на помпите е по-малък от единица и се намалява практически при всяко отклонение от номиналния режим на работа.

Литература

1. Закон за енергийната ефективност, Д.в., бр. 98 от 2008г.
2. Исталиянов Р., Сравнителна оценка на възможни решения за намаляване на разходите за водоотлив на подземен рудник, Год. На МГУ"Св. Иван Рилски", том 51, св. III, стр. 121-127.
3. Онушенко Г. Б., Юньков М.Г., Электропривод турбомеханизмов, М., Энергия, 1972.
4. Браславский И.Я., Ишматов З.Ш., Энергосберегающий асинхронный электропривод, М., АКАДЕМИЯ, 2004.
5. Лезонов Б.С., Экономия электроэнергии в насосных установках, М., Энергоатомиздат, 1991.
6. Маевский О.А., Энергетические показатели вентильных преобразователей, М., Энергия, 1978.