

## Изследване на разхода на енергия при паралелна работа на центробежни помпи

Генчо Попов, Борис Костов, Климент Климентов

**Energy Investigation of a pump system's performance when a different number of same type pumps work in parallel:** This paper presents an analysis of the energy consumption of 1, 2 and 3 same type centrifugal pumps working in parallel when the characteristic of pipe system is upfront known. The influence of system's static head on the energy consumption has been indicated. The effective work performance in terms of energy efficiency for a given pump when it works together with 1 or 2 more same type pumps or when it works single has been also determined.

**Key words:** pump systems, energy efficiency, parallel working pumps, specific energy consumption

### ВЪВЕДЕНИЕ

Добре известно е, че за осигуряване на по-големи дебити, в съответствие с нуждите на потребителя, в повечето помпени станции работят по няколко помпи, свързани паралелно. В реални условия върху ефективността на съвместната им работа влияние оказват редица фактори, някои от които се пренебрегват при извършване на енергийния анализ. Обикновено подаваният дебит е изцяло съобразен с графика на водопотребление, а осигуряването му може да се осъществи чрез включване и изключване на определен брой помпи. За постигане на висока ефективност е необходимо добро познаване на конкретната система, а изборът на помпи е от изключително значение за осигуряване на високо ефективния ѝ режим на работа. Знае се, че работният режим на дадена помпа ще бъде различен в случай, че тя работи самостоятелно и в случай на съвместната ѝ работа в система, като това неминуемо ще окаже влияние и ще доведе до промяна на нейните показатели – дебит, напор, к.п.д. и кавитационен запас NPSH, [1], [2].

В настоящата работа е изследван случай на паралелна работа на две и три еднакви центробежни помпи. Отчетени са влиянието на статичния напор на помпената система, както и на осигурявания от всяка една от помпите дебит, върху общия разход на енергия. За числена оценка на ефективността на работа, е използван критерий, определящ специфичния разход на енергия, т.е. вложената енергия за транспортирането на единица обем флуид ( $1\text{m}^3$ ) – представен в [5].

### МЕТОДИКА НА ИЗСЛЕДВАНЕТО

За извършването на аналитичен енергиен анализ на работните режими, при паралелно работещи „n“ на брой еднакви помпи, е необходимо предварително познаване на напорната характеристика  $H=f(Q)$  и характеристиката на к.п.д.  $\eta=f(Q)$  за всяка от избраните помпи. Те се описват с достатъчна точност от уравненията [3]:

$$(1) \quad H = a + bQ + cQ^2$$

$$(2) \quad \eta = d + eQ + fQ^2,$$

където a, b, c и d, e, f са коефициенти, съответно на напорната характеристика и на характеристиката на к.п.д. на помпите.

Уравненията (1) и (2) за дадена помпа, може да се получат като от характеристиките, предоставени в каталозите на фирмата производител, с помощта на специален софтуеър, се сканират определен брой точки от всяка една от тях, а данните се пренесат и обработят след това в средата на Excel.

Уравненията на сумарните напорни характеристики, когато две или три помпи работят в паралел, имат същият вид, като коефициентите в тях могат да се определят както аналитично, така и чрез обработване на тези характеристики в средата на Excel.

При пресмятанята за изходен работен режим е избран този, при който всяка една от трите паралелно свързани помпи, работи с номинален дебит  $Q_{nom}$  и напор  $H_{nom}$ . Изследвани са още случаи, при които работната точка (при съвместната работа на трите помпи) се измества и в двете посоки по сумарната напорна характеристика, т.е. при осигуряван по-висок и по-нисък напор от номиналния. За определяне на влиянието на статичния напор  $H_{ST}$  на тръбната система върху разхода на енергия, са разгледани случаите, при които  $H_{ST}/H_{nom}=0,2; 0,5$  и  $0,8$ .

За анализиране работата на дадена помпена система е необходимо да се познава характеристиката на тръбната система, която се описва от уравнението [3]:

$$(3) \quad H = H_{ST} + kQ^2,$$

където "k" е коефициент на тръбната характеристика.

От решението на системата уравнения (4), може да се определят стойностите на "k" при трите различни статични напора:

$$(4) \quad \begin{cases} H = a_3 + b_3Q + c_3Q^2 \\ H = H_{ST(i)} + k_iQ^2 \end{cases},$$

$$(5) \quad k_i = \frac{a_3 + b_3Q + c_3Q^2 - H_{ST(i)}}{Q^2},$$

където  $a_3$ ,  $b_3$  и  $c_3$  са коефициенти на сумарната напорна характеристика при паралелната работа на три еднакви помпи, а  $k_i$  – коефициентът на тръбната характеристика за съответния статичен напор.

След определянето на "k<sub>i</sub>", използвайки отново зависимостта (4) и извършвайки нови математически преобразувания, при решение на квадратното уравнение (6), може да бъдат пресметнати общите дебита  $Q_{2i}$ , които при изключване на третата помпа, останалите две ще подават в системата:

$$(6) \quad (c_2 - k_i)Q_{2(i)}^2 + b_2Q_{2(i)} + a_2 - H_{ST(i)} = 0,$$

където  $a_2$ ,  $b_2$  и  $c_2$  са коефициентите на сумарната напорна характеристика при паралелната работа на две еднакви помпи.

Разделяйки получените стойности за  $Q_{2(i)}$  на две (броя на помпите), става ясно какъв дебит осигурява всяка една от тях при разглеждания работен режим, а след това, чрез уравнение (1), може да се пресметне и напорът  $H_{2(i)}$ . Приема се, че общият к.п.д., с който помпите работят в системата, е равен на к.п.д. на коя да е от тях за дадения работен режим, а стойността му се пресмята от уравнение (2).

По същата методика се определят дебитите  $Q_{1(i)}$  и съответните напори  $H_{1(i)}$ , когато в системата остане да работи само една помпа.

Като критерий за числена оценка на ефективността на работа при включване и изключване на определен брой помпи, е използвана описаната и представена в [5] зависимост за определянето на специфичния разход на енергия:

$$(7) \quad e_v = \frac{g}{3600} \frac{H}{\eta},$$

където  $H$  е напорът на помпите при всеки един от изследваните работни режими,  $\eta$  – общият к.п.д. на помпените агрегати и  $g=9,81m/s^2$  – земното ускорение.

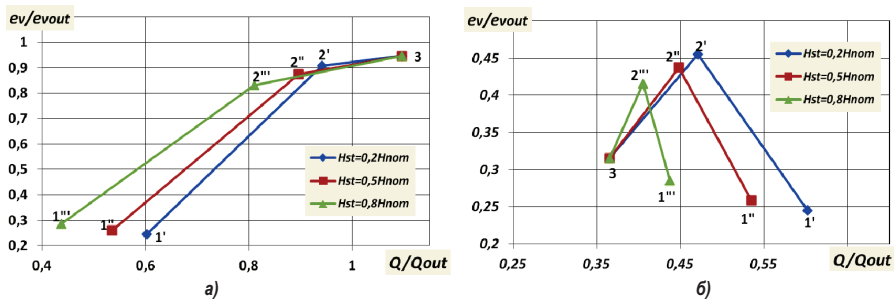
Необходимо е да се отбележи, че при пресмятането на  $\eta$ , връзката между помпите и двигателите е директна, т.е. к.п.д. на предавката  $\eta_{PP}=1$ , а влиянието на к.п.д. на електродвигателя не е отчетено.

В случая, не се прилага честотно регулиране, а регулирането на дебита става чрез включване и изключване на определен брой помпи. Ако допуснем, че двигателят, задвижващ всяка помпа, работи в установен работен режим, неговият к.п.д. може да бъде отчетен от характеристиката, предоставена от производителя и също да участва при пресмятането на специфичния разход на енергия.

### АНАЛИЗ НА ПОЛУЧЕНИТЕ РЕЗУЛТАТИ

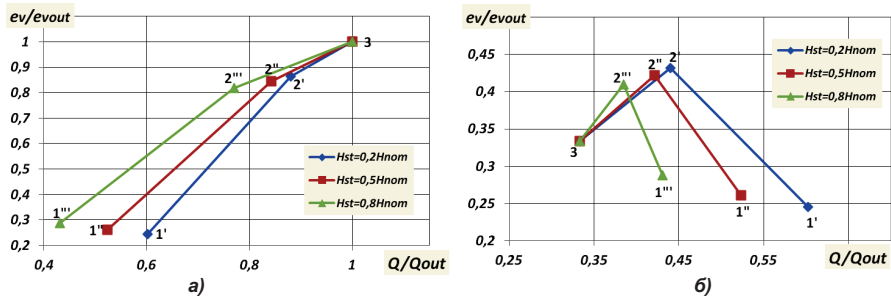
За графичното построяване на зависимостта, отразяваща промяната на специфичния разход на енергия ( $e_{v(i)}$ ) при паралелна работа на 2 или 3 еднакви помпи, при различни стойности на  $H_{ST}$  в системата, са използвани получените стойности за  $e_{v(i)}$  и  $Q_{(3,2,1)(i)}$ , отнесени към тези при изходния работен режим на системата –  $Q_{out}=3Q_{nom}$  и  $e_{vout}=3e_{vnom}$ . Разгледана е работата на няколко различни вида помпи, имащи различна стръмнина на напорните си характеристики (различен  $p_s$ ), като са представени резултатите за помпите 12E20 и 25E50, производство на фирма ВИПОМ – гр. Видин.

На фигурите по-долу с числа 1, 2 и 3 са обозначени изследваните работни режими, съответно при работещи 3 и 2 помпи в паралел и при оставане на 1 помпа да работи самостоятелно в системата. Индексите „прим“, „секонд“ и „терца“ дават информация за стойността на статичния напор в системата, съответно  $H_{ST}=0,2; 0,5; 0,8H_{nom}$ . Графиките в лявата част на фигурите (а) показват резултатите, получени при изследване на общият разход на енергия при съвместната работа на помпите, а тези от дясно (б) – резултатите от енергийния анализ на работата на една от изследваните помпи, включена паралелно с други 2 и 1 помпи (същия тип), както и при самостоятелната ѝ работа в системата.



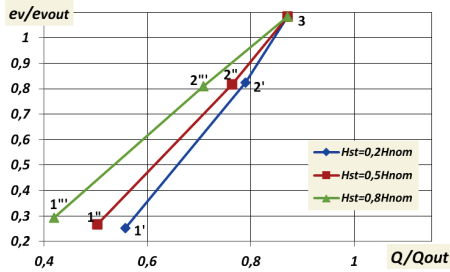
Фиг. 1

- а) Общ разход на енергия при паралелната работа на 3, 2 и 1 помпи 12E20 – при  $H < H_{nom}$   
 б) Енергиен анализ на работата на помпа 12E20, включена паралелно с други 2 и 1 помпи (същия тип), както и при самостоятелна работа в системата при  $H < H_{nom}$

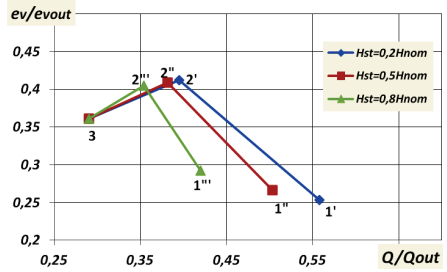


Фиг. 2

- а) Общ разход на енергия при паралелната работа на 3, 2 и 1 помпи 12E20 – при  $H = H_{nom}$   
 б) Енергиен анализ на работата на помпа 12E20, включена паралелно с други 2 и 1 помпи (същия тип), както и при самостоятелна работа в системата при  $H = H_{nom}$



а)

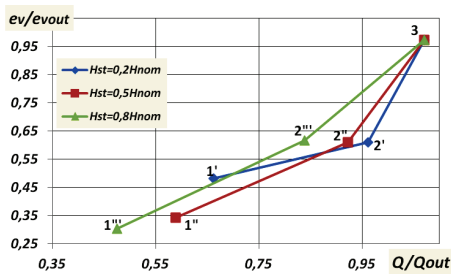


б)

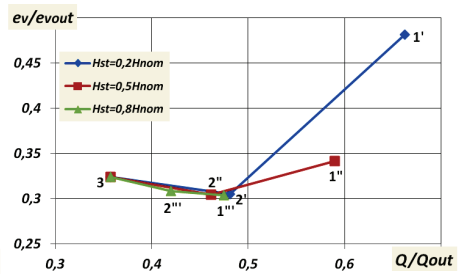
Фиг. 3

а) Общ разход на енергия при паралелната работа на 3, 2 и 1 помпи 12E20 – при  $H > H_{nom}$

б) Енергиен анализ на работата на помпа 12E20, включена паралелно с други 2 и 1 помпи (същия тип), както и при самостоятелна работа в системата при  $H > H_{nom}$



а)

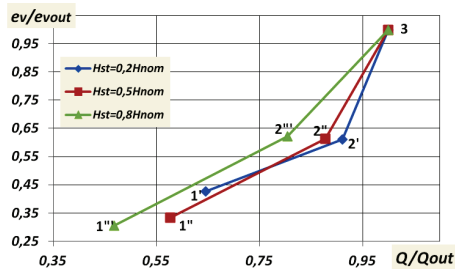


б)

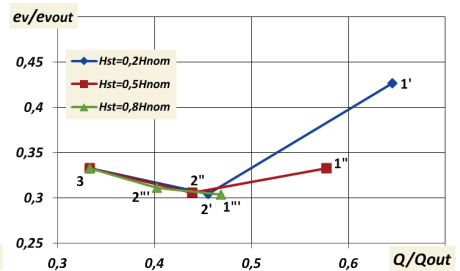
Фиг. 4

а) Общ разход на енергия при паралелната работа на 3, 2 и 1 помпи 25E50 – при  $H < H_{nom}$

б) Енергиен анализ на работата на помпа 25E50, включена паралелно с други 2 и 1 помпи (същия тип), както и при самостоятелна работа в системата при  $H < H_{nom}$



а)

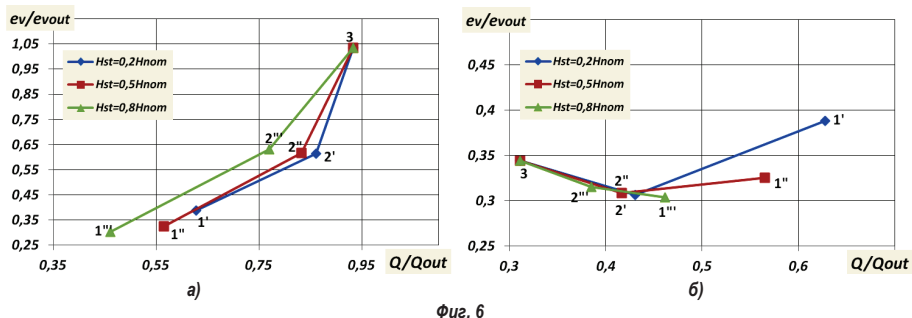


б)

Фиг. 5

а) Общ разход на енергия при паралелната работа на 3, 2 и 1 помпи 25E50 – при  $H = H_{nom}$

б) Енергиен анализ на работата на помпа 25E50, включена паралелно с други 2 и 1 помпи (същия тип), както и при самостоятелна работа в системата при  $H = H_{nom}$



Фиг. 6  
 а) Общ разход на енергия при паралелната работа на 3, 2 и 1 помпи 25E50 – при  $H > H_{nom}$   
 б) Енергиен анализ на работата на помпа 25E50, включена паралелно с други 2 и 1 помпи (същия тип), както и при самостоятелна работа в системата при  $H > H_{nom}$

Получените резултати за всички изследвани помпи потвърждават очакванията, че с увеличение на броя паралелно работещи помпи, специфичният разход на енергия нараства, а с помощта на използваната методика, може да бъде направена не само качествена, но и количествена оценка на промяната. Когато в системата останат да работят две помпи, намаляването на разхода на енергия е значително по-голям при помпите, имащи по-плавна напорна характеристика (25E50), отколкото при тези с по-стръмната напорна характеристика (12E20).

Видимо е, че без значение от стръмнината на напорната характеристика, с нарастване на статичния напор в системата, нараства и специфичният разход на енергия в нея, като изключения правят само случаите, при които помпа 25E50 остане да работи самостоятелно. Също така може да бъде отчетено, че с нарастване на напора, осигуряван от помпите, влиянието на статичния напор върху разхода на енергия и осигурявания дебит в системата намалява.

Анализирайки работата на една от помпите, в случаите, когато тя работи в паралел с още 2 или 1 други помпи, или остане да работи самостоятелно в системата, може да бъдат направени следните заключения:

- За помпите с по-стръмна напорна характеристика, и при трите разгледани изходни работни режима (без значение от стойността на статичния напор), когато в системата останат да работят две помпи, то всяка от тях ще работи значително по-неефективно в сравнение със случаите, когато работят три помпи или само една.
- При помпите с по-полегата напорна характеристика най-голям разход на енергия ще се получи, когато транспортирането на флуида става при останала самостоятелно работеща помпа в системата, което се дължи на изключително ниската стойност на к.п.д., при която ще се извършва работният процес.
- Най-добри показатели от гледна точка на енергийна ефективност при помпите със стръмна напорна характеристика ще има при самостоятелната им работа с тръбната система, докато за тези с по-полегата напорна характеристика, това ще бъде при работата на две помпи в системата (изключение са случаите при високи стойности на статичния напор в системата, защото тогава характеристиката на тръбната система ще бъде по-полегата, а в резултат на това к.п.д. на помпата, за получения работен режим, ще бъде значително по-висок).
- Необходимо е да се отчете фактът, че в случаите, когато остане да работи само една помпа, работните режими ще бъдат изключително

натоварени по дебит, където съществува опасност от претоварване на захранващия двигател и поява на кавитация.

Проведеното изследване може да послужи като база за още по-пълен и задълбочен енергиен анализ на система с паралелно работещи помпи, като за целта се изследва работата на различни помпи или такива, които имат различна степен на износване (увеличаване на хлабините в уплътненията) и др.

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Направеното теоретично изследване на ефективността при паралелна работа на еднакви центробежни помпи би могло да помогне при правилния избор на помпа и постигането на ефективни работни режими.

**БЛАГОДАРНОСТИ:** Тази работа е част от предвидените дейности по проект № MIS ETC 211: 2 (3i) -3.1-13: „Действия за подкрепа на нови научно-технически партньорства в транс граничната област с цел да обедини бизнеса и научните изследвания, за достъп до Европейски фондове САНДИ”, който е финансиран по Програмата за трансгранично сътрудничество Румъния България 2007– 2013.

**ACKNOWLEDGEMENTS:** This work is a part of the planned activities of the project № MIS ETC 211: 2 (3i) - 3.1-13: “Support Actions to create New RDI partnerships in trans-border area in order to bring together Business and Research for accessing European Funds” which is funded by the Program for cross-border cooperation between Romania and Bulgaria, 2007-2013

### **ЛИТЕРАТУРА**

- [1] Малюшенко В., А. Михайлов, Насосное оборудование тепловых электростанций, Энергия, Москва, 1975
- [2] Турк, В., А. Минаев, В. Карелин, Насосы и насосные станции, Стройиздат, Москва, 1976
- [3] Попов Г., Базови данни за обследване енергийната ефективност на помпените агрегати, РУ „Ангел Кънчев”
- [4] Попов Г., Климентов Кл., Тужаров Кр., Михайлов М., Определяне на енергоефективните режими при паралелна работа на центробежни помпи, Енергетика, 2009, стр. 44-48
- [5] Popov G., Klimentov Kl., Kostov V., Methods to estimate the energy consumption in regulating the flow rate of pump systems, Pceeding of DEMI 2011, Banja Luka, May 2011, стр. 495-500.

### **За контакти:**

Доц. д-р Генчо Попов, Катедра “Топлотехника, хидравлика и екология”, Русенски университет “Ангел Кънчев”, тел.: 0887745762, e-mail: [gspopov@uni-ruse.bg](mailto:gspopov@uni-ruse.bg)

**Докладът е рецензиран.**