

## КОСВЕННЫЙ КОНТРОЛЬ ПОДАЧИ НАСОСНОЙ УСТАНОВКИ СИСТЕМЫ ВОДОСНАБЖЕНИЯ ЗАБОЕВ ГИДРОШАХТЫ

**Костин А.Ю., студ.; Оголобченко А.С., доц., к.т.н.**

*(ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, ДНР)*

Система водоснабжения забоев гидрошахты представляет собой совокупность высоконапорной насосной установки и трубопроводной сети, на конце которой находятся гидромониторы – установки, осуществляющие выемку угля с помощью воды. Система водоснабжения забоев гидрошахты должна обеспечивать непрерывную подачу воды к гидромониторам необходимого давления и расхода для обеспечения расчетной производительности гидромониторов при наличии безаварийной эксплуатации насосных установок и трубопроводной сети. Это возможно достичь путем автоматизированного управления системой водоснабжения [1]. Подача насосной установки является управляемым параметром в системе управления. Для измерения подачи насосной установки в принципе существуют различные типы расходомеров, однако, как показал опыт их применения в системах водоснабжения забоев гидрошахт, использование расходомеров не надежно, а в некоторых типов просто невозможно. Это связано с различными причинами, основная из которых та, что в системе водоснабжения используется обратная вода, которая представляет собой агрессивную, структурно диспергированную среду, содержащую химические вещества и механические примеси в виде частиц твердого материала крупностью свыше 50мк в количестве от 10 до 60г/л и более. При большом давлении и высокой скорости воды это приводит к быстрому износу измерительных устройств расходомеров. Поэтому косвенный контроль подачи насосной установки, с использованием надежных в рассматриваемой системе водоснабжения датчиков является актуальной задачей.

Из теории центробежных насосов известно, что подача насосной установки ( $Q$ ) является функцией величины активной мощности ( $P_a$ ), потребляемой приводным электродвигателем насоса, и давления воды ( $p$ ) в трубопроводе на нагнетании насоса, и связаны между собой зависимостью вида:

$$Q = \eta \frac{P_a}{p} \quad (1)$$

где  $\eta = \eta_0 \eta_r \eta_m \eta_z$  - коэффициент полезного действия насосной установки, как совокупность КПД соответственно объемный, гидравлический, механический и электродвигателя (их значения в рабочем диапазоне работы насосных установок системы водоснабжения забоев гидрошахты изменяются нелинейно и в широких пределах [1]).

Для определения параметра  $Q$  по зависимости (1) необходимо измерять величины  $p$ ,  $P_a$  и  $\eta$ . Значения  $p$  и  $P_a$  могут быть измерены существующими, надежными в эксплуатации датчиками, а вот величина  $\eta$  не поддается прямому измерению. Поэтому в работе были проведены специальные экспериментальные исследования по косвенному определению подачи насосной установки по параметрам  $p$  и  $P_a$ .

Исследования осуществлялись в условиях системы водоснабжения забоев гидрошахты "Красноармейская" ГП «Добропольеуголь». В качестве насосных установок в системе водоснабжения применены повсеместно используемые на гидрошахтах насосные установки типа ЦНСГ 850х960 с приводным синхронным электродвигателем типа ДСП 140/74-УХПУ. Содержание примесей в воде характерно практически для всех гидрошахт, как и давление в нагнетательном трубопроводе (порядка 90МПа). Характерно также количество работающих гидромониторов в забоях (от 1 до 6), а, следовательно, и диапазон изменения подачи насосных установок (от 0,055 до 0,25 м<sup>3</sup>/с). Таким образом, выбранный объект исследований является типовым и характерным для всех гидрошахт.

В ходе экспериментальных исследований было проведено 8 серий измерений по 7 опытов в каждой серии на добычных участках № 4 и № 8 [2]. Достоверность опытов обеспечивалась их достаточным количеством, которое определено на основании пробных экспериментов. В результате пробных опытов (по 3 опыта в серии измерений) с надежностью 0,95 были определены среднеквадратичное отклонение, величина доверительного интервала и относительная погрешность результата серии измерений для каждого контролируемого параметра. При этом установлено, что относительные погрешности определения параметров, вызванные случайными ошибками, не превышают систематических, что указывает на достаточность опытов в каждой серии измерений.

Средние значения данных по каждой серии опытов, приведенных к одному рабочему колесу насоса (так как исследовались насосы с различным количеством рабочих колес), представлены в таблице 1. Как видно из таблицы 1, получены экспериментальные данные во всем возможном рабочем диапазоне эксплуатации насосных установок, а именно подача насоса изменялась от 0,055 до 0,25 м<sup>3</sup>/с.

Таблица 1 - Экспериментальные данные промышленных исследований системы водоснабжения забоев гидрошахты "Красноармейская"

№ серии опытов	p, Па	Pa, Вт	Q, м <sup>3</sup> /с
1	1230000	274000	0,055
2	1200000	369000	0,097
3	1170000	424000	0,130
4	1140000	430000	0,147
5	1070000	463000	0,182
6	100000	472000	0,195
7	105000	454000	0,204
8	993000	461000	0,25

По экспериментальным данным построены индивидуальные характеристики насоса ЦНСГ, которые показаны на рисунке 1. На рисунке 1 обозначено: 1 – паспортная напорная характеристика насоса; 2 – экспериментальная напорная характеристика насоса, которая аппроксимирована зависимостью  $p = 1,37 \cdot 10^6 - 1,81 \cdot 10^6 \cdot Q + 5,9 \cdot 10^5 \cdot Q^2$ , Па; 3- паспортная энергетическая характеристика насоса; 4 - экспериментальная энергетическая характеристика насоса, которая аппроксимирована зависимостью  $N = 3,5 \cdot 10^5 + 5,1 \cdot 10^5 \cdot Q - 8,7 \cdot 10^4 \cdot Q^2$ , Вт; 5 – паспортная характеристика КПД насоса; 6 – экспериментальная характеристика КПД насоса  $\eta_n = 0,21 + 1,21 \cdot Q + 0,51 \cdot Q^2$ .

Следует отметить, что при экспериментальных исследованиях параметры N – потребляемая мощность насосом и  $\eta_n$  – КПД насоса не измерялись. Значения этих величин получены расчетным путем по известным зависимостям. Так, значения мощности насоса для каждого j -го опыта определялись как

$$N = P_a \cdot \eta_{\text{э}}$$

где  $\eta_{\text{э}}$  - КПД электродвигателя насоса.

Как показали расчеты величина  $\eta_{\text{э}}$  применяемых синхронных электродвигателей типа ДСП 140/74-УХП4, в рабочем диапазоне насоса, при соответствующей загрузке не ниже 40 % от номинальной, изменяется незначительно, в частности, от 0,946 до 0,962. Поэтому для расчетов принималось постоянное значение КПД электродвигателя, равное 0,95.

Экспериментальные значения КПД насоса вычислены, как

$$\eta_{\text{нj}} = \frac{P_j \cdot Q_j}{N_j}$$

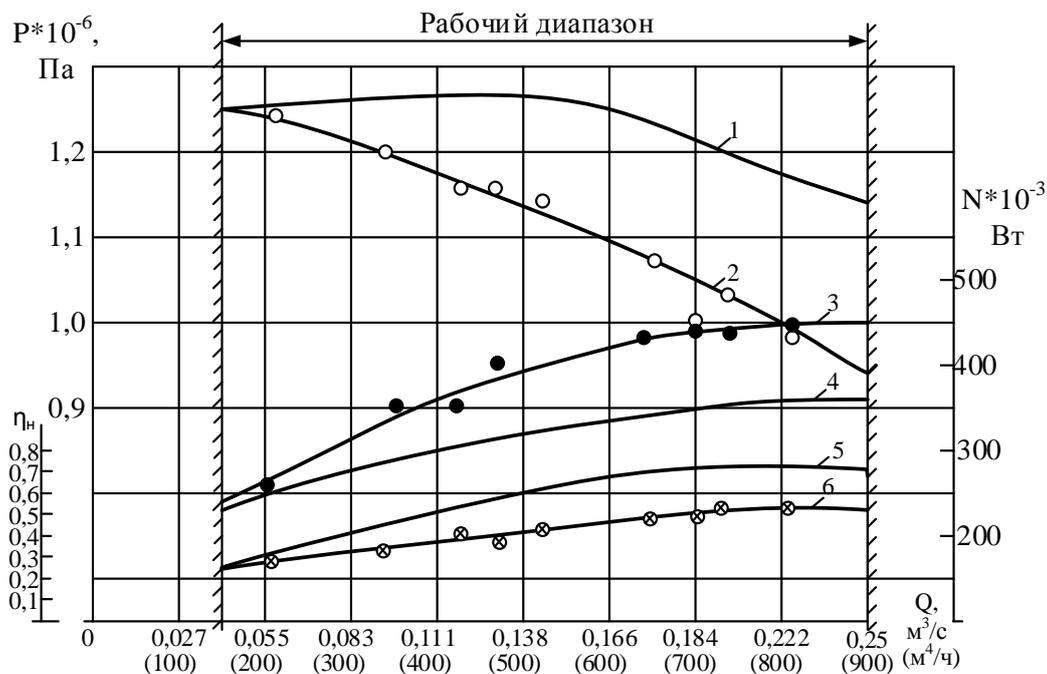


Рисунок 1 - Индивидуальные характеристики насоса ЦНСГ

Для получения математической зависимости (1) проведен на ЭВМ регрессионный анализ с использованием стандартной автоматизированной системы научных исследований A S N I, обеспечивающей построение наилучшей многофакторной модели. Для получения регрессионного уравнения анализировалось 54 наблюдения при доверительной вероятности 0,95.

В результате обработки на ЭВМ экспериментальных данных получена искомая зависимость вида:

$$Q = 1,15 - 9,59 \cdot 10^{-7} \cdot p - 1,3 \cdot 10^{-6} \cdot P_a + 1,31 \cdot 10^{-12} \cdot p \cdot P_a \quad (2)$$

В зависимости (2) размерность  $[p]$  – Па,  $[P_a]$  – Вт,  $[Q]$  – м³/с.

При этом погрешность аппроксимации экспериментальных данных составила 4,5%, а общая погрешность вычисления  $Q$  с учетом погрешностей определения  $p$  и  $P_a$  составляет 5,5%.

Полученная зависимость (2) справедлива в диапазоне изменения величины давления  $p$  от  $1,25 \cdot 10^6$  до  $0,85 \cdot 10^6$  Па, а величины активной мощности  $P_a$  от  $2,7 \cdot 10^5$  до  $4,7 \cdot 10^5$  Вт (на одно рабочее колесо). При этом коэффициенты уравнения учитывают возможное изменение КПД насоса, соответствующее кривой 6 на рисунке 1.

Однако, как видно из рисунка 1, индивидуальные характеристики исследуемых насосов ЦНСГ отличаются от паспортных, что объясняется износом насосов, причем максимальным. Это обусловлено тем, что напорная характеристика насосов в номинальном режиме снижена по сравнению с паспортной на 16% и при этом, как подтвердили исследования, насосы не обеспечивают необходимые гидравлические параметры потока воды гидромониторам. Использование полученной зависимости (2) для определения подачи насосов с другой степенью износа вызывает значительное увеличение погрешности вычислений.

Степень износа насоса характеризуется кривой КПД. Насосам с минимальным износом соответствует паспортная кривая КПД (кривая 5 на рисунке 1). Насосам с максимальным износом, как показали исследования, соответствует кривая 6 на рисунке 1. При этом значения КПД по кривой 6 отличаются от соответствующих значений по кривой 5 в номинальном режиме на 27%. Так как существующими средствами измерения  $p$ ,  $P_a$  и  $Q$  значения КПД насоса могут быть получены с максимальной точностью 5%, то для всех применяемых высоконапорных насосов ЦНСГ системы водоснабжения достаточно получить

еще две промежуточные кривые КПД, которые отличаются друг от друга не более чем на 10%, и для них определить соответствующие зависимости вычисления подачи  $Q$ . Возможные кривые КПД для насосов ЦНСГ с различной степенью износа показаны на рисунке 2.

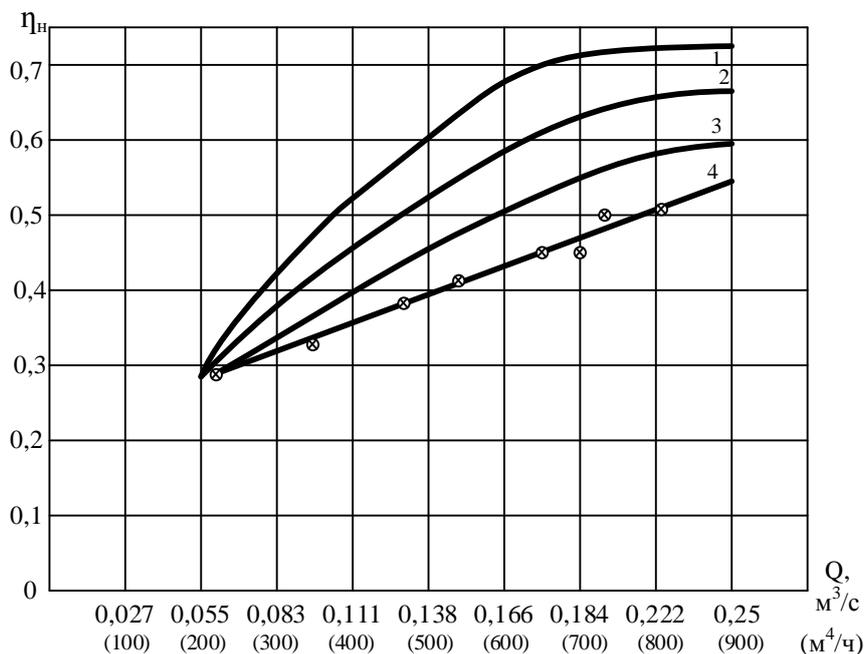


Рисунок 2 - Кривые КПД насосов типа ЦНСГ с различной степенью износа

Для расчета подачи насоса, значения КПД которого описываются кривой 4 используется зависимость (2). Для других кривых КПД получены следующие зависимости:

$$Q^{(1)} = 1,93 - 1,89 \cdot 10^{-6} \cdot p - 7,33 \cdot 10^{-6} \cdot P_a + 7,33 \cdot 10^{-2} \cdot p \cdot P_a; \quad (3)$$

$$Q^{(2)} = 0,56 - 6,07 \cdot 10^{-7} \cdot p - 4,88 \cdot 10^{-8} \cdot P_a + 7,82 \cdot 10^{-13} \cdot p \cdot P_a; \quad (4)$$

$$Q^{(3)} = 0,51 - 4,68 \cdot 10^{-7} \cdot p + 3,56 \cdot 10^{-7} \cdot P_a + 6,79 \cdot 10^{-14} \cdot p \cdot P_a; \quad (5)$$

где индексы при  $Q$  указывают на соответствие зависимости кривой КПД, приведенной на рисунке 2. При этом погрешность вычислений  $Q$  по полученным зависимостям составляет 5,5%.

Таким образом, для конкретного насоса с известной степенью износа (кривой КПД) используется соответствующая зависимость определения подачи. Следует заметить, что с течением времени насос изнашивается и, следовательно, возможно несоответствие зависимости для определения подачи реальной кривой КПД. Поэтому в эксплуатации требуется периодически производить контрольные проверки кривой КПД. Если в результате проверки установлено, что значения КПД насоса не соответствуют выбранной кривой КПД, то определяется другая кривая КПД и в систему управления вводится соответствующая ей зависимость.

#### Перечень ссылок

1. Груба В.И., Ф.О. Папаяни, Никулин Э.К., Оголобченко А.С. - Основы управления гидроэнерготранспортными системами., - Донецк: Донбасс, 1993. - 225 с.
2. Оголобченко А.С. Система автоматизированного управления энергетическим водоснабжением забоев гидрошахты: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.07 – Автоматизация технологических процессов и производств (промышленность)/Донецкий политехнический институт. — Донецк, 1993. — 351с.