

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ЗАВИСИМОСТИ ШАХТНЫХ НАСОСНЫХ УСТАНОВОК ОТ ИЗБЫТОЧНОЙ НАПОРНОСТИ НАСОСОВ

Петровых Л.В.¹, Угольников А.В.¹

¹ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет», Екатеринбург, Россия (620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30), e-mail: ugolnikov@yandex.ru

Условием стабильной работы центробежных насосов шахтных установок является наличие избыточной напорности. Необходимость поддержания запаса избыточной напорности продиктована возможным колебанием частоты питающей сети и частоты вращения приводного двигателя, разъеданием концов лопаток рабочих колес, их гидрообразивного износа и т.д. С ее изменением меняется количество энергии, затрачиваемое на откачивание воды. В связи с этим рассматриваются энергетические зависимости в функции избыточной напорности. Экспериментальное установление зависимостей удельной энергоемкости насосных агрегатов выполнялось на трех насосных установках рудника «Чебачий» ОАО «Верхнеуральская руда». Представлены зависимости удельной энергоемкости трех насосов в функции избыточной напорности в реальных условиях эксплуатации. Зависимости получены путем математической обработки результатов эксперимента с использованием метода наименьших квадратов.

Ключевые слова: шахтные водоотливные установки, избыточная напорность, удельная энергоемкость, зависимости

ESTIMATE OF THE ENERGY DEPENDENCE OF THE MINE PUMPING SYSTEMS FROM EXCESS OF PRESSURE

Petrovykh L.V.¹, Ugolnikov A.V.¹

¹Ural state Mining University, Yekaterinburg, Russia (620144, Yekaterinburg, street Kuibyshev, 30), e-mail: ugolnikov@yandex.ru

The presence of excessive pressure is an important condition of stable operation of centrifugal pumps of mine systems. It is necessary to maintain reserve of excessive pressure because of probable frequency changes of feeding net and frequency of rotation of drive motor, fretting of the ends of sholeves of impellers, its damage of water etc. With changing excessive pressure the amount of energy, which spends on water pumping, changes. In this regard power dependencies are considered in function of an excessive pressure. The experimental establishment of power density dependencies of pumping units had been realizing on three pumping systems of «Chebachi» mine of «Verkhneural ore». Dependencies of power density of these three pumps are performed in function of excessive pressure in the real conditions of exploitation. Dependence is calculated by using mathematical adaptation of results of the experiment using The Method of Least Squares.

Keywords: mine dewatering installations pumps of mines, excess of pressure, power density, dependence

Наличие избыточной напорности $H_{изб}$ – это одно из условий стабильной работы центробежных насосов. Избыточная напорность расходуется на перемещение воды по сети трубопровода и преодоление сопротивления. Необходимость поддержания запаса избыточной напорности продиктована возможным колебанием частоты питающей сети и частоты вращения приводного двигателя, разъеданием концов лопаток рабочих колес, их гидрообразивным износом и др.

Численно избыточная напорность $H_{изб}$ определяется как разность фактического манометрического напора насоса и геодезической высоты нагнетания [1]:

$$H_{изб} = H_m - H_z, \quad (1)$$

где H_m – фактический манометрический напор насоса, м; H_z – геодезическая высота нагнетания, м.

С увеличением избыточной напорности $H_{изб}$ увеличивается значение удельной мощности q , т.е. количество энергии, затрачиваемой на откачивание воды. В общем случае

$$q = \frac{N_H}{Q_H}, \quad (2)$$

где q – удельная мощность, кВт · ч/м³; N_H – мощность насоса, кВт; Q_H – производительность насоса, м³/ч.

В соответствии с (2) удельная избыточная мощность (обусловленная избыточной напорностью):

$$q_{изб.i} = \frac{\rho \cdot g \cdot H_{изб.i}}{1000 \cdot 3600 \cdot \eta_i}, \quad (3)$$

где ρ – плотность шахтной воды; η_i – текущее значение КПД насоса, соответствующее $H_{изб.i}$.

Избыточная напорность насоса может быть записана следующим образом

$$H_{изб.i} = R_{mp} \cdot Q_i^2, \quad (4)$$

где R_{mp} – постоянная трубопровода; Q_i – текущее значение подачи насоса.

Из уравнения (4) следует:

$$Q_i = \sqrt{H_{изб.i} / R_{mp}}, \quad (5)$$

Аналитическое выражение характеристик $\eta_i = f(Q_i)$ может быть представлено в виде квадратичной функции [2]:

$$\eta_i = Q_i(C_1 - C_2 Q_i), \quad (6)$$

где C_1, C_2 – опытные коэффициенты для каждого типа насоса.

С учетом (5) запишем аналитическое выражение характеристик $\eta_i = f(H_{изб.i})$:

$$\eta_i = \left(\frac{H_{изб.i}}{R_{mp}} \right)^{0,5} \left[C_1 - C_2 \left(\frac{H_{изб.i}}{R_{mp}} \right)^{0,5} \right], \quad (7)$$

Подставив выражение (7) в (3), получим зависимость удельной избыточной мощности насоса от его избыточной напорности:

$$q_{изб.i} = \frac{\rho \cdot g \cdot (H_{изб.i} \cdot R_{mp})^{0.5}}{1000 \cdot 3600 \cdot (C_1 - C_2 (H_{изб.i} / R_{mp})^{0.5})}, \quad (8)$$

Заменив выражение $\frac{\rho \cdot g}{1000 \cdot 3600} = K_{НА}$ (постоянной насосного агрегата), получим:

$$q_{изб.i} = K_{НА} \cdot \frac{\sqrt{H_{изб.i} \cdot R_{mp}}}{C_1 - C_2 \sqrt{H_{изб.i} / R_{mp}}}, \quad (9)$$

Расчетные зависимости $q_{изб} = f(H_{изб})$, построенные согласно выражению (9), приведены на рисунке 1 (для насосов типа ЦНС). Исходные данные для этих расчетов приведены в таблице.

Экспериментальное установление зависимостей удельной энергоёмкости насосных агрегатов $q = f(H_{изб})$ выполнялось на трех насосных установках рудника «Чебачий» ОАО «Верхнеуральская руда» с насосами ЦНСК 300-480.

Исходные данные для построения зависимостей $q_{изб} = f(H_{изб})$

Насос	Формула КПД $\eta = Q(C_1 - C_2 Q)$	Подача, м ³ /ч	R_{mp}
ЦНС 38-44 – ЦНС 38-220	$\eta = Q(0,03887 - 0,00059Q)$	$0 \leq Q \leq 50$	0,01300
ЦНС 60-198 – ЦНС 60-330	$\eta = Q(0,0207 - 0,00016Q)$	$0 \leq Q \leq 80$	0,00550
ЦНС 105-98 – ЦНС 105-490	$\eta = Q(0,01106 - 0,00004276Q)$	$0 \leq Q \leq 170$	0,00180
ЦНС 180-85 – ЦНС 180-425	$\eta = Q(0,008821 - 0,00002677Q)$	$0 \leq Q \leq 215$	0,00061
ЦНС 300-120 ЦНС 300-600	$\eta = Q(0,004243 - 0,000006119Q)$	$0 \leq Q \leq 400$	0,00022

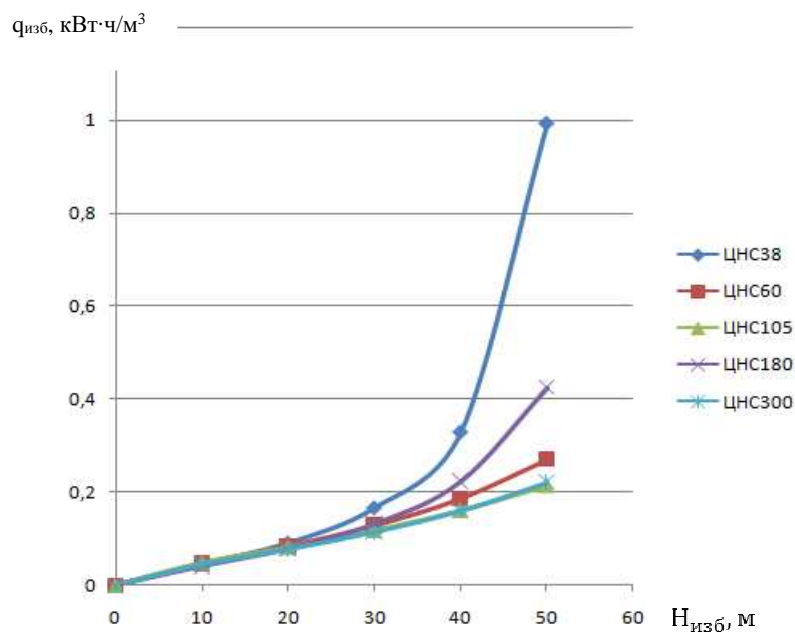


Рис. 1. Зависимости удельной избыточной энергоёмкости насосов в функции избыточной напорности насосного агрегата $q_{изб} = f(H_{изб})$

Центробежные секционные насосы типа ЦНСК 300-480 предназначены для перекачивания в стационарных условиях воды, содержащей механические примеси не более 0,2 % по весу, температурой до 40°C. Насосы могут использоваться для откачки воды на водоотливе в шахтах с показателем кислотности pH 3,5–8,5. Экспериментальные данные по определению производительности трех насосов главного водоотлива ЦНСК 300-480 были получены при помощи расходомера «ВЗЛЕТ ПР», предназначенного для оперативного измерения расхода и объема жидкости с помощью накладных датчиков без вскрытия трубопровода. Расходомер-счетчик ультразвуковой портативный «ВЗЛЕТ ПР» устанавливался при замерах на напорный трубопровод насосных агрегатов. Расходомер обеспечивал измерение среднего объемного расхода при скорости потока до 13 м/с, что соответствует расходу, определяемому по формуле:

$$Q_H = 2,83 \cdot 10^{-3} \cdot V \cdot D_y^2, \quad (10)$$

где Q_H – измеряемый средний расход, м³/ч; V – скорость потока, м/с; D_y – диаметр условного прохода трубопровода, мм.

Напор каждого насоса H_M измерялся манометром ДМ2010С.У2, установленным на нагнетательной линии насосной установки.

На рисунке 2 представлены зависимости удельной энергоемкости трех насосов (q) в функции избыточной напорности в реальных условиях эксплуатации. Зависимости получены путем математической обработки результатов эксперимента с использованием метода наименьших квадратов и представляют собой полиномиальные функции третьей степени с корреляционным отношением для насоса № 1 $R^2 = 0,83$; для насоса № 2 $R^2 = 0,99$; для насоса № 3 $R^2 = 0,51$ [3].

Полученные соотношения свидетельствуют о существенной зависимости удельной энергоемкости насосных агрегатов от избыточной напорности насосов.

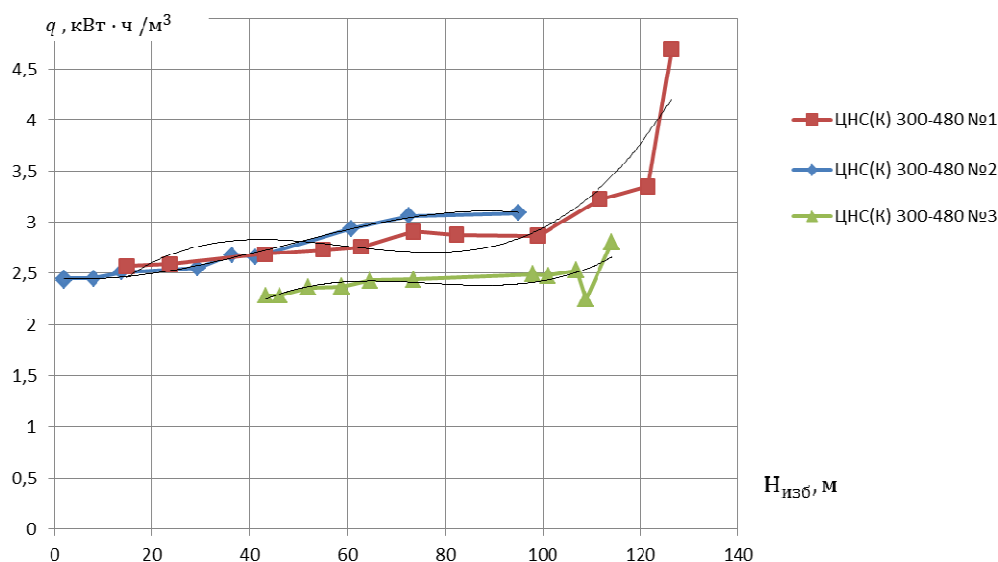


Рис. 2. Зависимости удельной энергоемкости насосов в функции избыточной напорности

$$\text{насосного агрегата } q = f(H_{\text{изб}})$$

Список литературы

1. Нечушкин Г.М. Состояния и проблемы водоотлива глубоких шахт. Сб. Водоотлив глубоких шахт. – М.: Недра. – 1967. – С. 67–70.
2. Петровых Л.В. Количественная оценка удельной энергоемкости в функции избыточной напорности насосов ЦНСК 300-480 // Сборник докладов УГПД-2012. – Уральская горно-промышленная декада. – С. 396–397.
3. Попов В.М. Рудничные водоотливные установки. Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Недра, 1983. – 304 с.
4. Попович Н.Г., Данильчук Г.И. Автоматизация производственных процессов угольных шахт. – Киев: Высшая школа. – 1978. – 335 с.
5. Тимухин С.А., Петровых Л.В. Оценка энергозатратности избыточной напорности водоотливных установок // Известия вузов. Горный журнал – 2011. – № 5. С. 82–86.

Рецензенты:

Шеклеин С.Е., д.т.н., профессор, д.т.н., заведующий кафедрой «Атомные электростанции» Уральского Федерального университета им. первого Президента РФ Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург;

Кожушко Г.Г., д.т.н., профессор кафедры подъемно-транспортных машин и роботов Уральского Федерального университета им. первого Президента РФ Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург.