

ОБОСНОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ЗАТРАТ НА ЭЛЕКТРОПРИВОД НАСОСНЫХ АГРЕГАТОВ ОТ ВЫСОТЫ СТУПЕНИ В МНОГОСТУПЕНЧАТОМ ШАХТНОМ ВОДООТЛИВЕ

Д. С. Стожков

С понижением горных работ до глубины 800–1600 м возникает необходимость обоснования рациональной высоты ступени в зависимости в том числе и от стоимостных показателей электродвигателей для насосного оборудования водоотливных установок. Рассмотрены вопросы установления зависимостей стоимостных показателей электродвигателей для насосного оборудования от высоты ступени.

Ключевые слова: высота ступени; секционные насосы; многоступенчатый шахтный водоотлив; стоимостные показатели; электродвигатель.

В практике проектирования и эксплуатации шахтного водоотлива глубоких горизонтов шахт и рудников все большее применение находят многоступенчатые схемы. Обусловлено это не только самим характером постепенного углубления горных работ, но и технической целесообразностью применения многоступенчатых схем, в которых не требуется высоконапорных насосов и арматуры, а электродвигатели имеют сравнительно небольшую мощность, что очень важно с точки зрения допустимой мощности короткого замыкания в системах подземного электропитания [1, 2]. С понижением горных работ до глубины 800–1600 м ступенчатость схем водоотлива может возрасти до 3–6. Следовательно, анализ и обоснование рациональной высоты ступени в таких схемах приобретает важное значение, особенно в условиях обводненных месторождений, при отработке которых расходы электроэнергии на водоотлив могут достигать половины и более общего расхода по шахте или руднику (например, такой случай имеет место на шахтах ОАО «Севуралбокситруда»).

Обоснование рациональной высоты ступени в таких задачах практически невозможно без технико-экономической оценки стоимостных показателей электродвигателей для насосного оборудования водоотливных установок в функции высоты ступени, что напрямую связано с аналогичными зависимостями стоимости электродвигателей и их отпускной цены.

В качестве исходных данных при решении этой задачи авторами были взяты за основу фактические данные заводов-изготовителей по отпускным ценам на электродвигатели. В качестве примера в табл. 1 и 2 приведены исходные данные по электродвигателям насосного оборудования и расчетные данные по их отпускным ценам (для расчета водоотливных установок с секционными насосами ЦНС 300-120...600 и ЦНС 500-160...880). На основе этого на рис. 1 и рис. 2 приведены расчетные графические зависимости затрат на электродвигатели в функции высоты ступени $H_{ст}$ для насосов типа ЦНС 300 и ЦНС 500.

Данные зависимости описываются полиномом первой степени типа $y = b + ax$, т. е.

$$C_{двиг} = aM_{кр} + c,$$

где $C_{двиг}$ – стоимость электродвигателя, р.; a , c – коэффициенты аппроксимации для рассматриваемых типов электродвигателей шахтных центробежных секционных насосов.

Так как мощность на валу машины (насоса) $N_B = M\omega$, то $C_{двиг} = a(N_B / \omega) + c$.

Из теории турбомашин известно, что

$$N_B = \frac{\rho q H_{ст(p)} Q_p}{1000 \cdot 3600 \eta_p},$$

где Q_p, η_p – режимное значение подачи и КПД, $H_{ст(p)}$ – высота ступени, численно равная режимному значению напора.

Из отношения

$$\frac{\rho q}{1000 \cdot 3600} = \text{const} = K_{н.у},$$

где $K_{н.у}$ – коэффициент насосной установки, следует, что

$$N_{в} = \frac{K_{н.у} H_{ст(р)} Q_{(р)}}{\eta_{р}}$$

В каскаде последовательно соединенных насосов $Q_{р}$ и $\eta_{р}$ одинаковы (если насосы одного типа, то и их режимы работы тоже одинаковы), следовательно, необходимо рассмотреть характеристики насосов и трубопроводов и точки действия режимов.

Таблица 1

Исходные данные для расчетов электродвигателей для насосов ЦНС 300-120...600

Тип насоса	Напор, м	Тип электродвигателя	Мощность электродвигателя, кВт	Частота вращения, мин ⁻¹	Отпускная цена электродвигателя, р.
ЦНС 500-160	160	BAO4-450LB-4	400	1500	378 880
ЦНС 500-240	240	BAO4-560 M4	630	1500	409 600
ЦНС 500-320	320	BAO4-560 LA4	800	1500	458 240
ЦНС 500-400	400	BAO4-560 LB4	1000	1500	631 360
ЦНС 500-480	480	BAO4-560 LB4	1000	1500	631 360
ЦНС 500-560	560	BAO4-630 S-4	1250	1500	957 760
ЦНС 500-640	640	BAO4-630 M-4	1600	1500	1 408 320
ЦНС 500-720	720	BAO4-630 M-4	1600	1500	1 408 320
ЦНС 500-800	800	BAO4-630 L-4	2000	1500	1 327 040
ЦНС 500-880	880	BAO4-630 L-4	2000	1500	1 327 040

С учетом изложенного запишем, что для любого рассматриваемого многоступенчатого каскада «насос в насос» отношение $Q_{р} / \eta_{р} = \text{const}$ справедливо для ступеней каскада.

Следовательно, мощность на валу двигателя

$$N_{в} = K_{н.у} K_{кас} H_{ст(р)},$$

где $K_{кас}$ – коэффициент каскада, численно

Таблица 2

Исходные данные для расчетов электродвигателей для насосов ЦНС 500-160...880

Тип насоса	Напор, м	Тип электродвигателя	Мощность электродвигателя, кВт	Частота вращения, мин ⁻¹	Отпускная цена электродвигателя, р.
ЦНС 500-160	160	BAO4-450LB-4	400	1500	378 880
ЦНС 500-240	240	BAO4-560 M4	630	1500	409 600
ЦНС 500-320	320	BAO4-560 LA4	800	1500	458 240
ЦНС 500-400	400	BAO4-560 LB4	1000	1500	631 360
ЦНС 500-480	480	BAO4-560 LB4	1000	1500	631 360
ЦНС 500-560	560	BAO4-630 S-4	1250	1500	957 760
ЦНС 500-640	640	BAO4-630 M-4	1600	1500	1 408 320
ЦНС 500-720	720	BAO4-630 M-4	1600	1500	1 408 320
ЦНС 500-800	800	BAO4-630 L-4	2000	1500	1 327 040
ЦНС 500-880	880	BAO4-630 L-4	2000	1500	1 327 040

равный отношению Q_p / η_p .

Подставляя уравнения, получаем

$$C_{\text{двиг}} = a \left(\frac{K_{\text{н.у}} K_{\text{кас}} H_{\text{ст}}}{\omega} \right) + c, \quad (1)$$

где

$$a \cdot \frac{K_{\text{НА}} \cdot K_{\text{нас}}}{\omega} = b,$$

b – коэффициент аппроксимации.

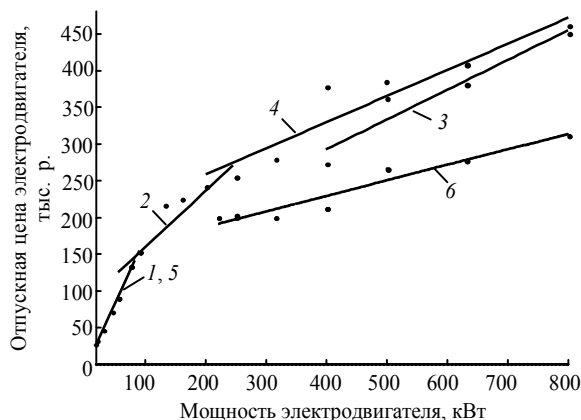


Рис. 1. Зависимости затрат на электродвигатели от высоты ступени:

1 – ЦНС 60-66...330; 2 – ЦНС 105-98...490; 3 – ЦНС 180-500...900; 4 – ЦНС 300-120...600; 5 – ЦНСК 60-66...330; 6 – ЦНСК 300-120...600

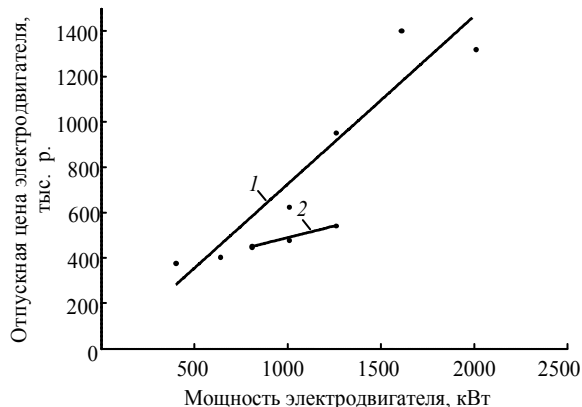


Рис. 2. Зависимости затрат на электродвигатели от высоты ступени:

1 – ЦНС 500-160...880; 2 – ЦНС 300-650...1040

Так как в шахтном водоотливе $\omega = const$, то выражение (1) может быть в окончательном виде записано:

$$C_{\text{двиг}} = c + bH_{\text{ст}}$$

Результаты математического описания этих зависимостей приведены в табл. 3.

Зависимости характеристик центробежных насосов ЦНС300-120...600 и ЦНСК 300-120...600 на рис. 1 отличаются разными мар-

Таблица 3

Результаты математического описания зависимостей $C_{\text{двиг}} = c + bH_{\text{ст}}$ для электродвигателей шахтных секционных насосов

Тип насоса	Типы электродвигателя	Аппроксимирующие уравнения
ЦНС 60-66...330	BA160M2Y2...BA250M2BY2	$C_{\text{двиг}} = -6,14 + 1,81H_{\text{ст}}$
ЦНС 105-98...490	BA225M2Y2...BAO4-450 M-4	$C_{\text{двиг}} = 8,33 + 0,076H_{\text{ст}}$
ЦНС 180-500...900	BAO4-450LB-2...BAO4-560LA2	$C_{\text{двиг}} = 1,30 + 0,041H_{\text{ст}}$
ЦНС 300-120...600	BAO4-450S-4...BAO4-560LA4	$C_{\text{двиг}} = 1,87 + 0,036H_{\text{ст}}$
ЦНС 300-650...1040	BAO4-560LA2...BAO-560-1250-2Y2	$C_{\text{двиг}} = 2,83 + 0,0021H_{\text{ст}}$
ЦНСК 60-66...330	BA180S2Y2...BA250M2BY2	$C_{\text{двиг}} = -6,18 + 1,79H_{\text{ст}}$
ЦНС 500-160...880	BAO4-450LB-4...BAO4-630L-4	$C_{\text{двиг}} = -1,644 + 0,0741H_{\text{ст}}$
ЦНСК 300-120...600	ДАЗО4-400ХК-4...ДАЗО4-450У-4У	$C_{\text{двиг}} = 1,44 + 0,0021H_{\text{ст}}$

ками электродвигателей серии ВАО4 и ДАЗО4.

Полученные зависимости $C_{\text{двиг}} = f(H_{\text{ст}})$ могут быть использованы при технико-

экономическом обосновании рациональной высоты одной ступени при проектировании многоступенчатых схем водоотлива глубоких горизонтов шахт и рудников.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Нечушкин Г. М. Состояния и проблемы водоотлива глубоких шахт // Водоотлив глубоких шахт. М.: Недра, 1967. С. 67-70.
2. Изюров В. В. Выбор оптимальной высоты ступени водоотлива для глубоких горизонтов шахт Кизеловского бассейна // Водоотлив глубоких шахт. М.: Недра, 1967. С. 79-81.

Поступила в редакцию 5 апреля 2013 г.

Стожков Дмитрий Сергеевич – ассистент кафедры электротехники. 620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30. E-mail: gmf.et@m.ursmu.ru