

Научная статья

УДК 622.005.01-181.1(078.5)

DOI: 10.26730/1816-4528-2023-1-50-57

Щербаков Юрий Спиридонович, Ерофеева Наталья Валерьевна*

Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева

*E-mail: env.stm@kuzstu.ru

МЕТОДИКА ПРОВЕРОЧНОГО РАСЧЕТА ВОДООТЛИВНОЙ УСТАНОВКИ ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ**Аннотация.**

Водоотливные установки горнорудных предприятий, как правило, были заложены несколько лет назад. В настоящее время для водоотлива установлены насосы, выбранные при проектировании с заданными на момент строительства шахты или разреза значениями максимального или нормального притоков, а также значениями высоты подъема. За время эксплуатации неизбежно произошло изменение показателей по притоку воды, но при этом насосы остались прежними. В связи с вышеизложенным возникает необходимость в проверочном расчете водоотливной установки под параметры, действующие на данный момент. Существует также необходимость в экономической оценке работы водоотливной установки. Ранее считалось, что экономичность работы установки обеспечивается при режиме работы, соответствующем максимальному значению коэффициента полезного действия (КПД) насоса. Однако последние исследования показали ошибочность этого утверждения. В настоящее время экономичность работы установки определяют по затратам электроэнергии на 1 м³ перекачиваемой воды. При этом максимальное значение КПД насоса не всегда соответствует минимуму удельных энергозатрат. В работе показана зависимость удельных энергозатрат для насоса ЦНСК 300–420. Для данного типоразмера насоса минимальные значения удельных энергозатрат смещаются в правую сторону от максимального КПД насоса. При переходе на новый режим работы водоотливной установки необходимо оценивать целесообразность работы насоса с меньшими значениями КПД, но при этом и с меньшими энергозатратами. Поскольку область промышленного использования насоса ограничена значениями 90% от максимального КПД, не следует доводить режим работы до параметров, при которых КПД насоса окажется менее 90% от максимального. Методика определения удельных энергозатрат справедлива и для других типоразмеров насосов ЦНС, однако зависимости могут иметь более крутое падение, что приведет к еще большему увеличению энергосбережения. В случае выполаживающейся характеристики удельных затрат экономичность работы следует оценивать по максимальному значению КПД.

**Информация о статье**

Поступила:

08 сентября 2022 г.

Одобрена после

рецензирования:

01 декабря 2022 г.

Принята к печати:

15 февраля 2023 г.

Опубликована:

09 марта 2023 г.

Ключевые слова:

водоотливная установка, центробежный насос, удельный расход электроэнергии, характеристика внешней сети, потери напора.

Для цитирования: Щербаков Ю.С., Ерофеева Н.В. Методика проверочного расчета водоотливной установки горных предприятий // Горное оборудование и электромеханика. 2023. № 1 (165). С. 50-57. DOI: 10.26730/1816-4528-2023-1-50-57

Водоотливная установка является неотъемлемой частью горнорудного предприятия, обеспечивающей его бесперебойную эксплуатацию [1]. Проектирование водоотливной установки производится на этапе проектирования всего горнорудного предприятия. Поэтому по истечении некоторого времени показатели водопритоков в шахте или на разрезе

могут значительно отличаться от заложенных ранее в расчет. Различия могут быть как в большую, так и в меньшую стороны, что приводит в первом случае к увеличению времени на откачку суточного притока вплоть до появления вероятности нарушения правил безопасности по времени работы насоса и возможности подтопления горных выработок, во

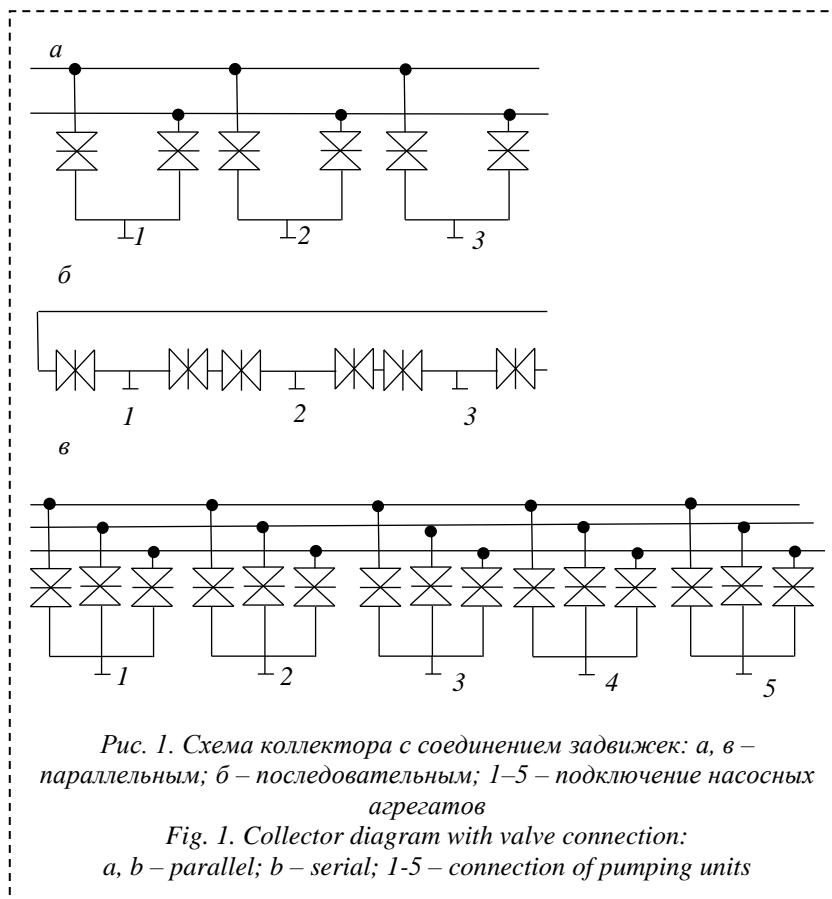


Рис. 1. Схема коллектора с соединением задвижек: а, в – параллельным; б – последовательным; 1–5 – подключение насосных агрегатов

Fig. 1. Collector diagram with valve connection: a, b – parallel; b – serial; 1-5 – connection of pumping units

втором – к неэффективному использованию спроектированного насоса [2]. В связи с этим возникает необходимость в проверочном расчете водоотливной установки под параметры, актуальные на сегодняшний день.

Методика проекторочного расчета водоотливной установки горнорудных предприятий достаточно полно представлена в литературе [3, 4]. Методика проверочного расчета освещена в меньшей степени.

Исходными данными для проверочного расчета водоотливной установки считают нормальный приток Q_n , максимальный приток Q_{max} , геометрическую высоту подъема H_r , продолжительность паводковых n_{max} и нормальных n_n дней в течение года, внутренние диаметры d_b и длины L напорного и всасывающего трубопровода, количество и тип арматуры, типоразмер насоса и его характеристику. Для водоотливных установок шахт, как правило, применяют центробежные секционные насосы типа ЦНС (ЦНСШ), для разрезов – углесосы (У).

Трубопровод водоотливной установки разделен на несколько участков: индивидуальный [5] трубопровод, соединяющий только один насос с коллектором, и магистральный трубопровод, подразделяемый на коллектор, трубопроводы в ходке, в стволе и по поверхности. Диаметр индивидуального трубопровода, как правило, выбирают равным условному диаметру патрубка насоса, трубопровод в коллекторе – равный условному диаметру трубопроводной арматуры. Обычно диаметр напорных трубопроводов до коллектора и в коллекторе принимают как одинаковый. Трубопровод в стволе выбирают по экономической скорости движения во-

ды. Для соединения трубопроводов различного диаметра предусматривают переходники (диффузор, конфузор).

В процессе проверочного расчета необходимо определить параметры рабочего режима насоса, требуемую мощность электродвигателя, продолжительность работы насосной установки при откачке нормального и максимального притока, годовой расход электроэнергии и другие показатели.

Расчетную подачу ($m^3/ч$) насоса определяют по рекомендациям руководящих документов. С 1995 г. для угольных шахт и разрезов формула имеет вид

$$Q_{рн} = \frac{24}{20} Q_{max}, \quad (1)$$

где Q_{max} – максимальный приток, $m^3/ч$.

Для рудных шахт и карьеров вместо максимального притока в формулу (1) подставляют нормальный приток [6].

Скорость движения воды в напорном или всасывающем трубопроводах (m/c)

$$c_p = \frac{Q_{рн}}{3600 \frac{\pi d_b^2}{4}}, \quad (2)$$

где d_b – внутренний диаметр напорного или всасывающего трубопровода, м.

Потери напора в напорном и всасывающем трубопроводах определяют как [4, 7, 8]

$$h = \left[\lambda \frac{L}{d_b} + \sum (n_i \xi_i) + 1 \right] \frac{c_p^2}{2g}, \quad (3)$$

где L – суммарная длина прямолинейных участков трубопровода, м; n_i – количество i -х местных сопротивлений; ξ_i – коэффициент i -го местного сопротивления; λ – коэффициент трения по длине трубопровода.

Коэффициент трения по длине на нагнетательном и всасывающем участках определяют по формуле проф. Ф. А. Шевелева

$$\lambda = \frac{0,021}{d_b^{0,3}}. \quad (4)$$

Значения коэффициентов местных сопротивлений, к которым относят задвижки, тройники, обратные клапаны, отводы (колена) и т. д., указаны в литературе [9].

Поскольку потери напора во всасывающем трубопроводе незначительны по сравнению с потерями в напорном трубопроводе, то потерями напора во всасывающем трубопроводе можно пренебречь и дальнейший расчет производить только по напорному трубопроводу.

Ранее спроектированная водоотливная установка шахты включает рабочие и резервные насосы,

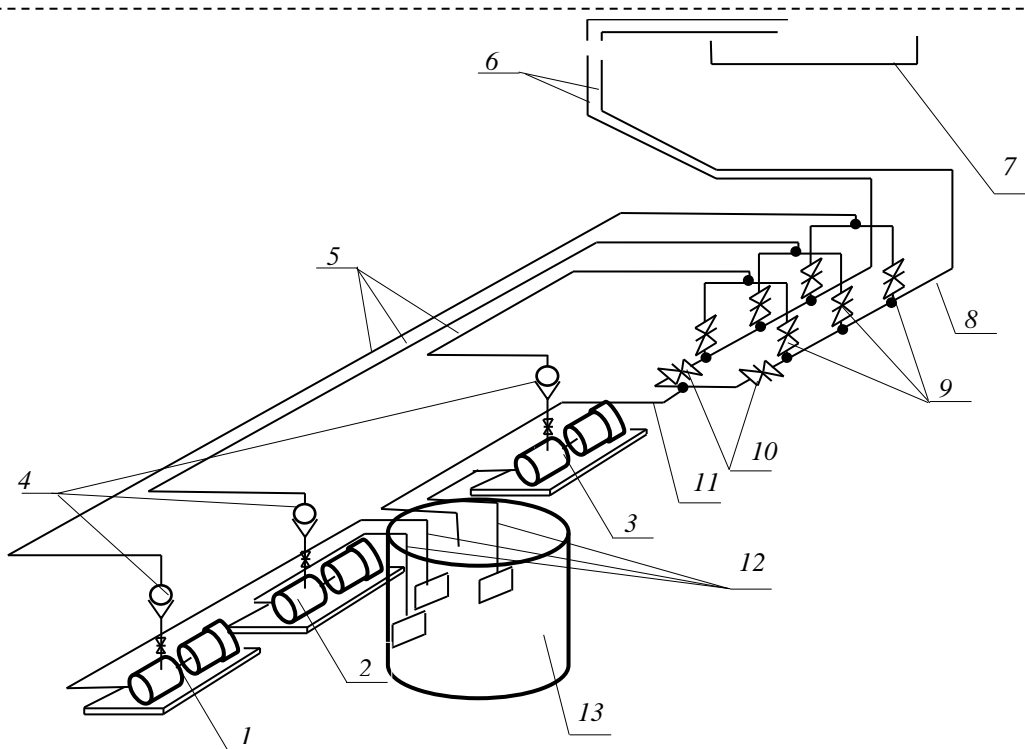


Рис. 2. Схема расположения трубопроводов в насосной камере, по стволу и на поверхности:
 1–3 – насосные агрегаты; 4 – обратный клапан; 5 – индивидуальный трубопровод; 6 – напорный трубопровод; 7 – отстойник; 8 – коллектор; 9 – регулируемые задвижки; 10 – задвижки для слива; 11 – сливной трубопровод; 12 – всасывающий трубопровод; 13 – колодец

Fig. 2. Layout of pipelines in the pumping chamber, along the trunk and on the surface:
 1–3 – pumping units; 4 – check valve; 5 – individual pipeline; 6 – pressure pipeline; 7 – sump; 8 – collector; 9 – adjustable valves; 10 – drain valves; 11 – drain pipeline; 12 – suction pipeline; 13 – well

подключаемые к одной коммутационной схеме [5]. Количество резервных и находящихся в ремонте насосов для рудных шахт согласно федеральным нормам и правилам в области промышленной безопасности «Правила безопасности при ведении горных работ и переработке твердых полезных ископаемых» при числе рабочих насосов до трех составляет один плюс один, до шести – два плюс один насос. Для угольных шахт общее количество насосов определяют по «Правилам безопасности в угольных шахтах» (ПБ) и «Временным нормам технологического проектирования угольных и сланцевых шахт (ВНТП 1–92)», где указано, что при количестве рабочих насосов до 9 количество резервных и находящихся в ремонте равно количеству рабочих плюс один. Водоотливная установка разреза согласно «Правилам безопасности при разработке угольных месторождений открытым способом» должна состоять из рабочего насоса и резервного, причем производительность последнего должна составлять 20–25% от подачи рабочего и насосы должны иметь одинаковый напор. На Рис. 1, а показана схема традиционного шахтного кольцевого коллектора для подключения трех насосов (один из которых рабочий, другой – резервный и третий – находящийся в ремонте) с параллельным подключением задвижек [5]. Данная схема отвечает требованиям ПБ по пункту работы каждого насоса на любой трубопровод. Общее количество задвижек равно количеству насосов, умноженному на

число трубопроводов. На Рис. 1, б показана коммутация трубопроводов с последовательным соединением задвижек, что позволяет применить не пространственное, а линейное расположение коллектора.

В случае параллельной работы двух насосов диаметр магистрального трубопровода должен быть в 1,3 раза больше, чем диаметр индивидуальных труб, а в случае, показанном на Рис. 1, б, и диаметр задвижек должен удовлетворять этому условию, что является недостатком. Еще одним недостатком схемы с последовательным соединением задвижек является суммирование потерь напора при прохождении последних. Однако этот недостаток не столь существенен, поскольку сопротивление задвижки примерно в 40 раз меньше сопротивления обратного клапана, устанавливаемого на индивидуальном трубопроводе [5].

Кроме того схема, показанная на Рис. 1, б не отвечает требованиям ПБ по пункту работы каждого насоса на любой трубопровод. Однако в работе [5] обосновано допущение отключения какого-то количества насосов при ремонте определенного участка трубопровода.

На Рис. 1, в показана традиционная схема подключения пяти насосов с параллельным вводом задвижек. Число напорных трубопроводов равно трем, один из которых резервный.

Существуют и другие схемы подключения насосов, описанные в литературе [5].

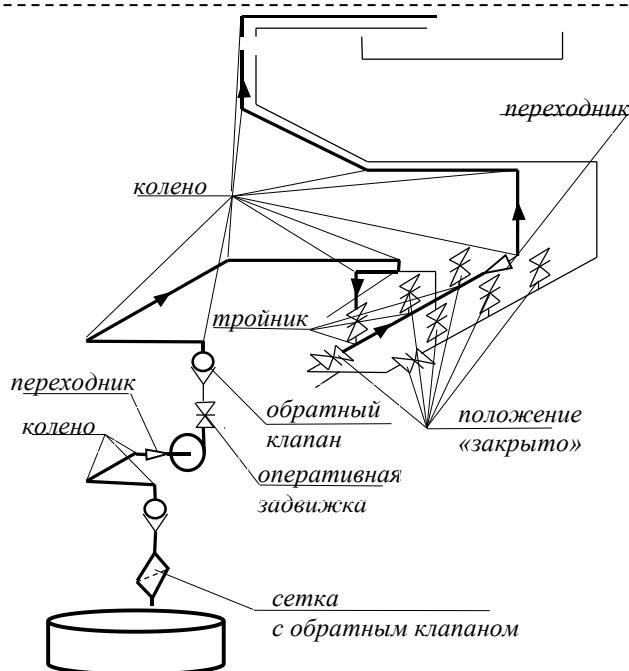


Рис. 3. Расчетная схема трубопроводов
Fig. 3. Design scheme of pipelines

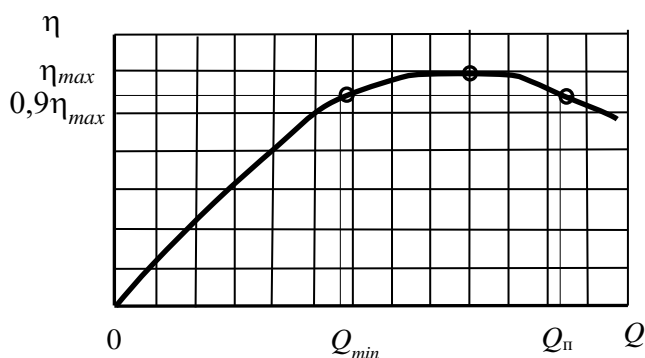


Рис. 4. Определение подачи насоса в пределах промышленного его использования
Fig. 4. Determination of the pump supply within its industrial use

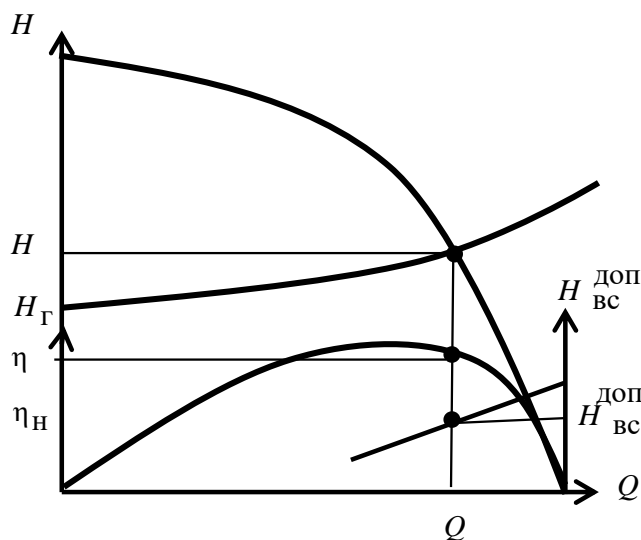


Рис. 5. Определение рабочего режима
Fig. 5 Determination of the operating mode

Поскольку проверочный расчет выполняется для действующей водоотливной установки, то, соответственно, уже имеется определенная коммутация трубопроводов. Для дальнейшего расчета необходимо разработать схему включения насоса на трубопровод с учетом действующего трубного коллектора и расстановки оборудования в насосной станции (Рис. 2). Расчетную схему составляют для фиктивного насоса, имеющего наибольшие длины всасывающего и нагнетательного трубопроводов в пределах насосной станции и наибольшее количество местных сопротивлений при движении воды по коллектору (Рис. 3). Этот прием обеспечивает повышение надежности и устойчивости работы установки в условиях интенсивного износа трубопровода, что характерно для горного предприятия.

Характеристика внешней сети (м) для водоотливной установки в общем виде имеет вид

$$H_c = H_r + RQ^2, \quad (5)$$

где R – коэффициент гидродинамического сопротивления трубопровода, $\text{ч}^2/\text{м}^5$.

Величину R ($\text{ч}^2/\text{м}^5$) рассчитывают через потери напора и расход воды:

$$R = \frac{\sum h}{Q_{\text{п}}^2}, \quad (6)$$

где $\sum h$ – суммарные потери во всасывающем и напорных трубопроводах (как отмечалось ранее, потерями во всасывающем трубопроводе можно пренебречь), м; $Q_{\text{п}}$ – номинальная подача насоса, (по другим источникам – подача насоса, соответствующая максимальному пределу его промышленного использования), $\text{м}^3/\text{ч}$.

Предел промышленного использования насоса определяется при снижении максимального КПД насоса, указанного в паспортных данных, до 10%. На пересечении линии, отложенной с параметром 0,9 от максимального значения, с кривой КПД по оси абсцисс определяется значение подачи $Q_{\text{п}}$ (Рис. 4).

Подставив значения величин R и H_r в уравнение (5), получают выражение с одним неизвестным. Для построения характеристики сети табулируют полученное уравнение от 0 до $1,4Q$ с шагом $0,2Q$.

Параметры рабочего режима определяют путем наложения характеристики сети на характеристику установленного насоса с учетом количества колес (Рис. 5). Точка пересечения характеристики сети с характеристикой насоса будет определять параметры рабочего режима ($Q; H$). Для определения коэффициента полезного действия (КПД) $\eta_{\text{н}}$ насоса проводят вертикальную линию до пересечения с кривой КПД, допускаемой высоты всасывания – с кривой $H_{\text{в}}^{\text{доп}}$.

В процессе эксплуатации вследствие износа рабочего колеса, увеличения зазоров в проточной части изменяется характеристика насоса

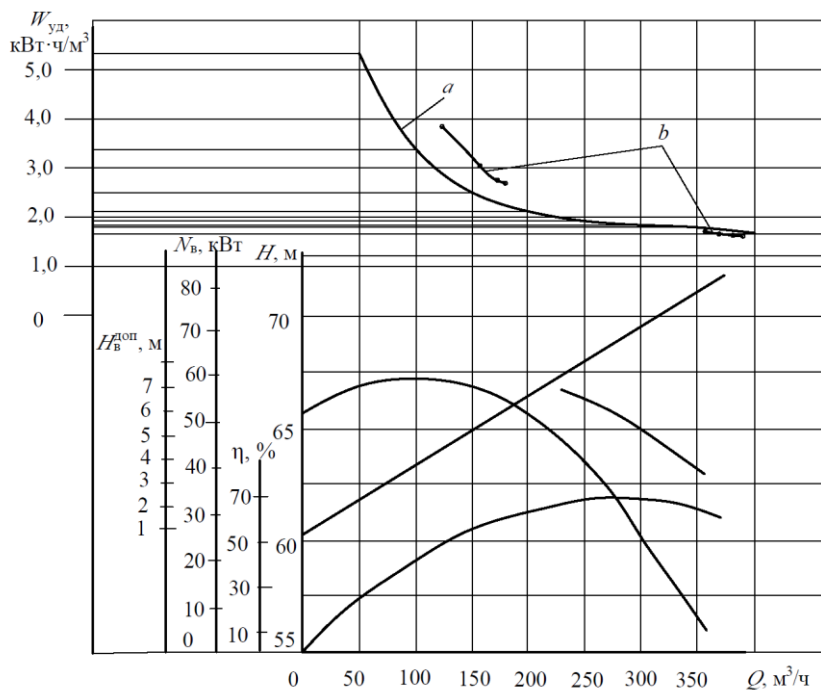


Рис. 6. Характеристика насоса ЦНСК 300–420 (на одно рабочее колесо) с характеристикой удельных затрат: а – теоретической; б – на основе экспериментов [14]

Fig. 6. Characteristics of the centrifugal sectional pump with a characteristic of unit costs: a – theoretical; b – based on experiments [14]

[10]. Следовательно, лучше определять рабочий режим насоса, используя реальную характеристику насоса, а не паспортную.

Ранее считалось, что при работе насоса в режиме, отличающемся от номинального и, как следствие, связанном с ухудшением КПД, увеличиваются затраты энергии на транспортирование [11]. Для опровержения этого утверждения воспользуемся следующей методикой определения энергозатрат.

Требуемую расчетную мощность электродвигателя (Вт) определяют по формуле [3, 8]

$$N_p = k \frac{\rho g Q H}{3600 \eta_n}, \quad (7)$$

где ρ – плотность перекачиваемой жидкости, кг/м³; g – ускорение свободного падения, м/с²; k – коэффициент резерва мощности (принимают 1,1÷1,3).

Продолжительность (ч) работы насоса для откачивания нормального и максимального притоков воды в горные выработки определяют соответственно как

$$t_{\max} = \frac{24 Q_{\max}}{Q} < 20; \quad t_n = \frac{24 Q_n}{Q} < 20. \quad (8)$$

Согласно ПБ производительность рабочих насосов должна обеспечивать откачку максимального суточного притока должна производиться не более чем за 20 ч.

Годовой расход электроэнергии (кВт·ч/год) можно определить как

$$W_{\Gamma} = \frac{\rho g H Q}{3600 \cdot 1000 \eta_n \eta_{\text{дв}} \eta_c} (t_n n_n + t_{\max} n_{\max}), \quad (9)$$

где $\eta_{\text{дв}}$ – КПД электродвигателя; η_c – КПД линии электропередачи от трансформатора до двигателя насоса (принимают 0,95÷0,99).

$$A_B = 24(Q_n n_n + Q_{\max} n_{\max}) \quad (10)$$

Удельный расход (кВт·ч/м³) электроэнергии на 1 м³ воды

$$W_{\text{уд}} = \frac{W_{\Gamma}}{A_B} \quad (11)$$

«Полезный» расход энергии, отнесенный к единице объема (кВт·ч/м³) [4, 12]:

$$W_{\Pi} = \frac{\rho g H}{3600 \cdot 1000}. \quad (12)$$

Удельный расход энергии (кВт·ч/м³) получаем, подставляя в формулу (11) выражения (7) и (10):

$$W_{\text{уд}} = \frac{\rho g H}{3600 \cdot 1000 \eta_n \eta_{\text{дв}} \eta_c} \quad (13)$$

Зная параметры двигателя, КПД линии электропередачи, плотность воды и обозначив

$$B = \frac{\rho g}{3600 \cdot 1000 \eta_{\text{дв}} \eta_c},$$

получим уравнение:

$$W_{\text{уд}} = B \frac{H}{\eta_n}. \quad (14)$$

Подставляя параметры напора и КПД насоса при соответствующем значении подачи, получим характеристику удельных затрат (см. Рис. 6, а). Данная удельная характеристика представляет собой нелинейную близкую к гиперболической зависимость, не имеющую минимума, обладающую значительной крутизной в области малых подач. В литературе встречаются формы характеристик удельных затрат, имеющие минимум с последующим увеличением в области больших подач, а также выполаживающиеся с увеличением подач [13]. В последних случаях эффективность работы установки лучше оценивать по КПД насоса. На Рис. 6, б показаны зависимости, полученные экспериментальным путем для насоса ЦНСК 300–420 [14]. Невозможно заметить, что экспериментальные данные и теоретические зависимости имеют одинаковый характер.

С целью повышения эффективности при падающей характеристике удельных затрат рекомендуется обеспечить рабочий режим работы в области больших подач путем соответствующего выбора параметров внешней сети. Способы регулирования достаточно хорошо освещены в литературе [11, 15–18].

Для насоса ЦНСК 300–420 область промышленного использования ограничивается значением КПД, равным 63%. При данном значении КПД удельные затраты электроэнергии составят 1,80 кВт·ч/м³, а если режим работы будем планировать в области с максимальным КПД (т. е. равным 70%), то удельные затраты возрастут до 1,85 кВт·ч/м³.

Сравнивая варианты, можем получить наиболее выгодный с точки зрения энергозатрат проект, в результате внедрения которого экономия энергии составит следующую величину:

$$\Delta = W_{уд1} - W_{уд2} \quad (15)$$

Для нашего примера экономия составит 0,05 кВт·ч/м³. На первый взгляд такое значение может показаться несущественным. Но не стоит забывать, что удельные энергозатраты рассчитаны на 1 м³ перекаченной воды. За год установка перекачивает количество воды, равное A_v (см. формулу (10)). Поэтому, если посчитать с учетом годового притока, то разница в годовых затратах энергии будет существенна.

КПД водоотливной установки определяют по формуле

$$\eta = \frac{W_{п}}{W_{уд}} = \eta_{н} \eta_{дв} \eta_{эс} \quad (16)$$

Таким образом, проверочный расчет водоотливной установки позволит произвести перерасчет параметров под реально существующие притоки, скорректировать режим работы установки, при котором КПД насоса будут стремиться к максимуму, а удельные энергозатраты к минимуму.

Данная методика также пригодна для оценки эффективности работы вновь проектируемой водоотливной установки горных предприятий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Александров В. И., Авксентьев С. Ю., Махараткин П. Н. Энергоэффективность систем шахтного водоотлива // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2017. №2. С. 253–268.
2. Тимухин С. А., Проблемы проектирования и эксплуатации комплексов шахтного водоотлива // Известия Уральского государственного горного университета. 2014. №3 (35). С. 68–73.
3. Братченко Б. Ф. [и др.] Стационарные установки шахт : справочное пособие. Москва, 1977. 440 с.
4. Долганов А. В., Тимухин С. А. Гидроабразивный износ насосов рудничного водоотлива : научная монография. Москва, 2016. 180 с.
5. Методика определения числа насосов, диаметра и количества трубопроводов, выбора коммутационной схемы шахтных водоотливных

установок. ВНИИ им. М. М. Федорова. Донецк, 1987. 47 с.

6. Тимухин С. А., Угольников А. В., Долганов А. В. Обоснование стратегии определения нормального суточного притока воды при выборе водоотливного оборудования // Известия Уральского государственного горного университета. 2013. №3 (31). С. 33–36.

7. Попов В. М. Шахтные насосы (теория, расчет и эксплуатация) : справочное пособие. Москва, 1993. 224 с.

8. Basic principles for the design of centrifugal pump installations. Sterling fluid systems group. 2003. 376 p.

9. Selecting centrifugal pumps. Germany. KSB. 2005. 92 p.

10. Пивняк Г. Г., Бешта А. С., Балахонцев А. В., Бешта Д. А., Худолей С. С. Энергоэффективность комплекса шахтного водоотлива // Электротехнические и компьютерные системы. 2011. №3 (79). С. 394–396.

11. Лезнов Б. С. Экономия электроэнергии в насосных установках. Москва : Энергоатомиздат, 1991. 144 с.

12. Волотковский С. А., Крюков Д. К. Разумный Ю. Т. [и др.]. Электрификация стационарных установок шахт : справочное пособ. Под общей ред. Пивняка Г. Г. Москва. 1990. 399 с.

13. Мазуренко В. В. Исследование характеристик удельных энергозатрат турбомашин // Энергосбережение и водоподготовка. 2004. №3 (31). С. 52–54.

14. Долганов А. В. Повышение эффективности эксплуатации водоотливных установок медноколчеданных рудников : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. Екатеринбург, 2012. 20 с.

15. Лысенко О. А., Симаков А. В., Горовой С. А. Повышение энергоэффективности насосных установок нефтеперерабатывающей отрасли // Омский научный вестник. 2018. № 6 (162). С. 50–55.

16. Кормашов А. И., Крупнов Е. И. Регулирование режимов работы насосных установок // Молодые ученые – развитию Национальной технологической инициативы (ПОИСК). 2020. № 1.

17. Мезенцева А. В. Исследование регулирования подачи насоса электрическим способом // IX Международная научно-практическая конференция «Культура, наука, образование: проблемы и перспективы». 2021. Т. 1. №1. С. 519–524

18. Olszewski P. Genetic optimization and experimental verification of complex parallel pumping station with centrifugal pumps // Applied Energy. 2016. № 178. Pp. 527–539.

© 2023 Автор. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Об авторах:

Щербаков Юрий Спиридонович, кандидат техн. наук, доцент, Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева, (650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28)

Ерофеева Наталья Валерьевна, кандидат техн. наук, доцент, Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева, (650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28), env.stm@kuzstu.ru

Заявленный вклад авторов:

Щербаков Юрий Спиридонович – постановка исследовательской задачи, научный менеджмент, обзор соответствующей литературы, концептуализация исследования

Ерофеева Наталья Валерьевна – обзор соответствующей литературы, сбор и анализ данных, выводы, написание текста.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Original article

DOI: 10.26730/1816-4528-2023-1-50-57

Yuri S. Shcherbakov, Natalia V. Erofeeva

T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University

E-mail: env.stm@kuzstu.ru

THE METHOD OF VERIFICATION CALCULATION OF THE MINE DRAINAGE

Abstract.

Drainage installations of mining enterprises, as a rule, were laid several years ago. The pumps selected during the design with the values of maximum or normal inflows set at the time of construction of the mine or section, as well as the values of the lifting height, are currently installed for drainage. Water inflow indicators have changed during operation. However, the pumps remained the same. The need for a verification calculation of the drainage system for the parameters currently in effect arises in connection with the above. There is also a need for an economic assessment of the operation of the drainage system. Previously, it was believed that the cost-effectiveness of the installation is ensured when the operating mode corresponds to the maximum value of the efficiency of the pump. However, recent studies have shown the fallacy of this statement. Currently, the cost-effectiveness of the installation is determined by the cost of electricity per cubic meter of pumped water. At the same time, the maximum value of the efficiency of the pump does not always correspond to the minimum of specific energy consumption. The dependence of specific energy consumption for a centrifugal sectional pump 300-420 is shown in the work. For this pump size, the minimum values of specific energy consumption are shifted to the right side of the maximum efficiency of the pump. When switching to a new mode of operation of the drainage system, the expediency of the pump operation must be evaluated with lower values of the efficiency coefficient, but at the same time with lower energy consumption. Since the scope of industrial use of the pump is limited to values of 90% of the maximum efficiency, the operating mode should not be adjusted to parameters at which the efficiency of the pump will be less than 90% of the maximum. The method of determining specific energy consumption is also valid for other pump sizes. However, dependencies can have a steeper drop, which will lead to an even greater increase in energy savings. In the case of a flattening characteristic of unit costs, the cost-effectiveness of work should be evaluated by the maximum value of the efficiency coefficient.



Article info

Received:

08 September 2022

Accepted for publication:

01 December 2022

Accepted:

15 February 2023

Published:

09 March 2023

Keywords: mine drainage, pump, specific power consumption, characteristics, pressure loss.

For citation: Shcherbakov Yu.S., Erofeeva N.V. The method of verification calculation of the mine drainage. Mining Equipment and Electromechanics, 2023; 1(165):50-57 (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1816-4528-2023-1-50-57

REFERENCES

1. Aleksandrov V.I., Avksent'ev S.Yu., Maharatkin P.N. Energoeffektivnost' sistem shahtnogo vo-

dootliva. Gornyj informacionno-analiticheskij byulleten'. 2017; 2:253–268.

2. Timuhin S.A., Ugol'nikov A.V., Dolganov A.V. Problemy proektirovaniya i ekspluatatsii kompleksov shahtnogo vodootliva. *Izvestiya Ural'skogo gosudarstvennogo gornogo universiteta*. 2014; 3(35):68–73.

3. Bratchenko B.F. [et al.] Stacionarnye ustanovki shaht : spravochnoe posobie/ Moskva, 1977.

4. Dolganov A.V., Timuhin S.A. Gidroabrazivnyj iznos nasosov rudnichnogo vodootliva : nauchnaya monografiya. Moskva, 2016.

5. Metodika opredeleniya chisla nasosov, diametra i kolichestva truboprovodov, vybora kommutacionnoj skhemy shahtnyh vodootlivnyh ustanovok. VNII im. M.M. Fedorova. Doneck, 1987.

6. Timuhin S.A., Ugol'nikov A.V., Dolganov A.V. Obosnovanie strategii opredeleniya normal'nogo sutochnogo pritoka vody pri vybore vodootlivnogo oborudovaniya. *Izvestiya Ural'skogo gosudarstvennogo gornogo universiteta*. 2013; 3(31):33–36.

7. Popov V.M. Shahtnye nasosy (teoriya, raschet i ekspluatatsiya) : spravochnoe posobie. Moskva, 1993.

8. Basic principles for the design of centrifugal pump installations. Sterling fluid systems group. 2003. 376 p.

9. Selecting centrifugal pumps. Germany. KSB. 2005. 92 p.

10. Pivnyak G.G., Beshta A.S., Balahoncev A.V., Beshta D.A., Hudolej S.S. Ergoeffektivnost' kompleksa shahtnogo vodootliva. *Elektrotekhnicheskie i komp'yuternye sistemy*. 2011. №3 (79). S. 394–396.

11. Leznov B.S. Ekonomiya elektroenergii v nasosnyh ustanovkah. Moskva: Energoatomizdat; 1991.

12. Volotkovskij S.A., Kryukov D.K., Razumnyj Yu.T. [i dr.]. Elektrifikatsiya stacionarnykh ustanovok shaht : spravochnoe posobie. Pod obshchej red. Pivnyaka G.G. Moskva. 1990.

13. Mazurenko V.V. Issledovanie harakteristik udel'nykh energozatrat turbomashin. *Energoberezhenie i vodopodgotovka*. 2004; 3(31):52–54.

14. Dolganov A.V. Povyshenie effektivnosti ekspluatatsii vodootlivnykh ustanovok mednokolchedannykh rudnikov: avtoreferat dissertatsii na soiskanie uchenoj stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk. Ekaterinburg, 2012.

15. Lysenko O.A., Simakov A.V., Gorovoj S.A. Povyshenie ergoeffektivnosti nasosnykh ustanovok neftepererabatyvayushchej otrasli. *Omskij nauchnyj vestnik*. 2018; 6(162):50–55.

16. Kormashov A.I., Krupnov E.I. Regulirovanie rezhimov raboty nasosnykh ustanovok. *Molodye uchenye – razvitiyu Nacional'noj tekhnologicheskoy iniciativy (POISK)*. 2020. № 1.

17. Mezenceva A.V. Issledovanie regulirovaniya podachi nasosa elektricheskim sposobom. *IX Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya «Kul'tura, nauka, obrazovanie: problemy i perspektivy»*. 2021; 1(1):519–524

18. Olszewski P. Genetic optimization and experimental verification of complex parallel pumping station with centrifugal pumps. *Applied Energy*. 2016; 178:527–539.

© 2023 The Author. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

The author declare no conflict of interest.

About the author:

Yuri S. Shcherbakov, C. Sc. in Engineering, Associate Professor, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, (28 street Vesennyaya, Kemerovo, 650000, Russian Federation)

Natalia V. Erofeeva, C. Sc. in Engineering, Associate Professor, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, (28 street Vesennyaya, Kemerovo, 650000, Russian Federation), env.stm@kuzstu.ru

Contribution of the authors:

Yuri S. Shcherbakov - statement of the research problem, scientific management, review of relevant literature, conceptualization of the study

Natalia V. Erofeeva - review of the relevant literature, data collection and analysis, conclusions, writing the text.

Author have read and approved the final manuscript.

