

## ЭКОНОМИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ШАХТНОМ ВОДООТЛИВЕ

Малеев В.Б., канд.техн.наук., доц., ДонНТУ;  
Ященко А.М., главный механик департамента угольной промышленности Министерства энергетики и топлива Украины; Холоша А.С., аспирант, ДонНТУ

*Рассмотрены вопросы экономии электроэнергии на шахтном водоотливе за счет правильной эксплуатации центробежных насосов*

*The problems of saving of the electric power on mine pumping are surveyed at the expense of exact maintenance of impeller pumps*

Высокий уровень механизации горных работ, большие газо-водообильность и глубина разработки пластов обуславливают значительный расход электроэнергии при добычи угля на шахтах Донбасса. Поэтому энергомеханическая служба шахт непрерывно ведет работы, направленные на снижение непроизводительных расходов электроэнергии, особенно на вспомогательных технологических процессах, к которым относится и шахтный водоотлив.

Шахтные водоотливные установки Донбасса не только обеспечивают нормальную эксплуатацию подземного энергомеханического оборудования и безопасность работ при их обслуживании, но и расходуют большое количество электроэнергии – около 1,7 млрд. кВт·ч в год. В связи с вышеприведенным, водоотлив шахт должен обладать высокой надежностью и экономичностью. Если же высокая надежность главных водоотливных установок обеспечивается при их проектировании, то экономичность, в основном, зависит от грамотной эксплуатации оборудования водоотлива, которая обеспечивается непрерывным контролем рабочих параметров насосов, состоянием водосборников и приемных колодцев. Для обеспечения всего этого водоотливная установка должна иметь рациональную схему и необходимые контрольные приборы.

По нашему мнению получить снижение расхода электроэнергии на водоотливе можно за счет повышения экономичности насосных агрегатов, выбора рациональной схемы сбора и откачки общешахтного притока и совершенствования водоотливного комплекса шахт.

Оценку эффективности использования электроэнергии подземными водоотливными установками наиболее полно можно судить по значению КПД. Фактически коэффициент полезного действия водоотливной установки  $\eta_{\text{вод. уст}}$  равен произведению четырех КПД: насоса  $\eta_n$ , электродвигателя  $\eta_d$ , шахтной электрической сети  $\eta_c$  и трубопровода водоотливной установки  $\eta_{\text{тр}}$ .

$$\eta_{\text{вод. уст}} = \eta_n \cdot \eta_d \cdot \eta_c \cdot \eta_{\text{тр}}, \quad (1)$$

Тогда, фактический расход электроэнергии за сутки, необходимый для подъема суточного шахтного водопритока  $Q_c$  равен

$$E_c = \rho g H_r Q_c / \eta_{\text{вод. уст}}, \quad (2)$$

где  $\rho$  – плотность шахтной воды;  $H_r$  – геометрическая высота водоподъема.

На основании вышеприведенных формул можно наметить пути снижения расхода электроэнергии на шахтном водоотливе за счет повышения КПД элементов водоотливной установки.

Коэффициент полезного действия электрической сети

$$\eta_c = N_d / (N_d + \Delta N_c), \quad (3)$$

где  $\Delta N_c$  – потери мощности в питающей сети.

Потребляемая мощность электродвигателя зависит от его загрузки и может быть выражена через номинальные параметры

$$N_d = K_3 \cdot N_{\text{дн}} / \eta_{\text{дн}}, \quad (4)$$

В свою очередь номинальная мощность выражается через номинальный ток  $I_n$  и напряжения сети  $U_n$

$$N_{\text{дн}} = \sqrt{3} \cdot I_n \cdot U_n \cdot \cos \varphi_n, \quad (5)$$

Потери активной мощности в электрической сети от двигателя до центральной подземной подстанции

$$\Delta N_c = 3 K_3^2 \cdot I_n^2 \cdot R_c, \quad (6)$$

где  $K_3$  – коэффициент загрузки;  $R_c$  – активное сопротивление питающей сети ( $R_c = L / j \cdot S$ );  $L$  – длина сети;  $S$  – сечение силовой жилы сети;  $j$  – проводимость материала жилы.

Учитывая, что сечение питающей линии выбирают по экономической плотности тока  $S = K_3 \cdot I_n / j_3$ , выражение для КПД сети примет вид:

$$\eta_c = \frac{1}{1 + \sqrt{3} \cdot j_3 \cdot L \cdot \eta_{\text{дн}} / U_n \cdot j \cdot \cos \varphi_n}, \quad (7)$$

Значение величин, входящих в это уравнение могут изменяться в пределах  $j_3=2,0...2,5$ ;  $L=50...100$ ;  $\cos\varphi=0,75...0,95$ ;  $U_H=6000$  и поэтому само значение КПД сети изменяется в пределах  $0,999...0,998$ .

Если учесть потери энергии во всей питающей сети до главной понизительной подстанции, то с достаточной точностью КПД сети можно считать постоянным и равным  $0,98$ .

Коэффициент полезного действия электродвигателя зависит от его загрузки и характеризуется общими потерями мощности в нем  $\Delta N_D$ . При этом номинальный КПД электродвигателя

$$\eta_{дн} = N_{дн} / (N_{дн} + \Delta N_D), \quad (8)$$

Потери мощности в двигателе состоят из суммы постоянных (К) и переменных (Р) потерь. Постоянные потери не зависят от нагрузки двигателя, а переменные пропорциональны квадрату тока и коэффициенту загрузки:

$$\Delta N_D = K + P = K + N_{дн} (I/I_H)^2 = K + N_{дн} K_3^2 = N_{дн} (a + K_3^2), \quad (9)$$

где  $a = K/N_{дн}$  постоянная величина двигателя (для асинхронных электродвигателей  $a=0,5...1,0$ ).

Фактическое значение КПД двигателя

$$\eta_D = \frac{1}{\left(1 + \frac{\Delta N_D}{N_D}\right)}, \quad (10)$$

С учетом того, что фактическую мощность двигателя можно выразить через коэффициент его загрузки  $N_D = K_3 \cdot N_{дн} / \eta_{дн}$ , формула для КПД примет вид

$$\eta_D = \frac{1}{\left(1 + \frac{(1 - \eta_{дн}) \cdot (a + K_3^2)}{\eta_{дн} \cdot K_3 \cdot (1 + a)}\right)}, \quad (11)$$

Из этого выражения видно, что повлиять на КПД двигателя возможно за счет увеличения его загрузки. Для приводных электродвигателей насосов водоотлива загрузка, как правило, не бывает ниже 75% номинальной. Учитывая это можно считать, что КПД двигателя в процессе эксплуатации водоотливной установки не изменяется и равен его номинальному значению  $0,9...0,96$ .

КПД трубопровода при работе насоса с напором  $H_n$  и геометрической высоте водоподъема  $H_r$  определяется по зависимости

$$\eta_{\text{тр}} = H_r / H_n . \quad (12)$$

С учетом того, что напор насоса определяется рабочей подачей насоса  $Q_p$  и сопротивлением трубопровода  $a_{\text{тр}}$ , имеем:

$$\eta_{\text{тр}} = H_r / (H_r + a_{\text{тр}} Q_p^2) , \quad (13)$$

где  $a_{\text{тр}} = a_n + a_{\text{вс}}$  – соответственно сопротивление нагнетательного и всасывающего трубопроводов.

Сопротивление трубопровода можно определить по удельным сопротивлениям  $A_{\text{дл}}$ , зависящим от диаметра трубопровода, и его длины  $L$ .

$$a_{\text{тр}} = A_{\text{дл}} \cdot (L + l_{\text{экв}}) , \quad (14)$$

где  $l_{\text{экв}}$  – эквивалентная длина всех местных сопротивлений трубопровода.

$$L \cong H_r / \text{Sin} \alpha , \quad (15)$$

где  $\alpha$  – угол наклона выработки (для вертикальной  $\alpha = 90^\circ$ ).

Если для главной водоотливной установки длина трубопровода практически равна высоте водоподъема, то для участковых водоотливных установок наличие горизонтальных участков трубопровода приводит к тому, что условный угол трубопровода  $\alpha_0$  меньше фактического угла наклона  $\alpha$ , по которым приложены трубы [1] и тогда:

$$\text{Sin} \alpha_0 = H_r / L_c , \quad (16)$$

где  $L_c$  – строительная (фактическая) длина трубопровода.

В этом случае напор, развиваемый насосом

$$H_n = L_c \left[ \text{Sin} \alpha_0 + A_{\text{дл}} (1 + l_{\text{экв}} / L_c) Q_p^2 \right] , \quad (17)$$

КПД трубопровода:

$$\eta_{\text{тр}} = \text{Sin} \alpha_0 / \left[ \text{Sin} \alpha_0 + A_{\text{дл}} (1 + l_{\text{экв}} / L_c) Q_p^2 \right] , \quad (18)$$

Таким образом, для участкового водоотлива КПД трубопровода зависит не только от диаметра трубопровода (который входит в величину  $A_{\text{дл}}$ ) и расхода в нем, но и от параметра  $\alpha_0$  технологической схемы. Поэтому для схем с малыми условными углами наклона правильный выбор диаметра трубопровода оказывает большое влияние на энергетические показатели работы водоотлива. Расчеты [1] показывают, что при работе насоса на трубопровод  $d = 100$  мм вместо оптимального  $d_{\text{опт}} = 150$  мм при  $\alpha_0 = 90^\circ$  перерасход электроэнергии составляет 9%, а при  $\alpha_0 = 10^\circ - 45\%$ . При этом относительное повышение

напора насоса при роботі на трубопровод діаметром менше оптимального буде равно відносительному расходу електроенергії.

Целесообразність переходу на оптимальні параметри участкових водоотливних установок можна ілюструвати наступним образом. По ГКХ "Донецкуголь" на трубопровод  $d=100$  мм працює 15 насосів ЦНС 105... з сумарним числом робочих колес 78. При роботі цих насосів на оптимальний трубопровод  $d_{\text{опт}}=150$  мм потребується всього 48 робочих колес. Установлена сумарна потужність двигателів по цим насосам на 254 кВт перевищує сумарну потужність по оптимальному варіанту.

Для експлуатуємих трубопроводів оптимальні швидкості руху води становить 2,1...2,2 м/с, а для знову проектуємих 2,25...2,35 м/с.

Проведений аналіз експлуатуємих трубопроводів показав, що більшість з них мають занижені діаметри як за рахунок неправильного проектування, так і за рахунок інтенсивного відкладення осаду на внутрішніх стенках, цей фактор є однією з причин перерасходу електроенергії на водоотливі.

Первоначальна пропускна здатність трубопроводів відновлюється очищенням різними способами і засобами, що відрізняються і технологією, і вартістю. Обґрунтований вибір термінів очищення трубопроводів дозволяє звести до мінімуму невиробничі витрати на електроенергію і підвищити пропускну здатність трубопроводів.

Оптимальним терміном очищення слід вважати такий, при якому витрати на електроенергію, пов'язані з збільшенням гідравлического опору трубопроводу, будуть рівні витратам на очищення за умови, що пропускна здатність трубопроводу до очищення забезпечить откачку суточного притоку за час, регламентоване ПБ.

Уравнення, що виражає залежність величини додаткових витрат на оплату електроенергії за умови осадоутворення від експлуатаційних параметрів трубопроводу, має наступний вигляд:

$$\Delta C_{\text{Э}} = 245,33 \cdot a_{\text{Э}} \frac{L \cdot T \cdot Q^3}{\eta_{\text{вод. уст}} \cdot d_0^{5,25}} \left[ \frac{(2,5 + 3 \cdot T)^{0,25}}{(1 - 0,127 \cdot T^{0,553})^{5,25}} - 1,257 \right], \quad (19)$$

де  $a_{\text{Э}}$  – вартість 1 кВт-ч електроенергії;  $L$  – довжина трубопроводу, м;  $T$  – час експлуатації трубопроводу, рік;  $Q$  – витрата води

по трубопроводу,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ;  $d_0$  – оптимальный внутренний диаметр трубопровода, м.

Факторы, влияющие на экономичность главной шахтной водоотливной установки можно выявить, проанализировав эксплуатационные характеристики насоса и его рабочий режим. При определении рабочего режима насос должен оборудоваться манометром на нагнетательном патрубке и мановакууметром на всасывающем. Кроме того, на поверхностном конце нагнетательного трубопровода необходимо в момент определения рабочего режима устанавливать расходомер (концевая диафрагма или водослив). Рабочий режим насоса должен входить в зону его промышленного использования, определяемую КПД, имеющим значение  $\eta_{\text{н раб}} \geq 0,8\eta_{\text{н max}}$ . Это обычно достигается при расчете водоотливной установки путем правильного выбора внутреннего диаметра нагнетательного трубопровода и количества рабочих колес насоса. Однако, в процессе эксплуатации насоса происходит снижение его напорной характеристики из-за износа его деталей, увеличения внутренних утечек и др. При этом напорную характеристику нагнетательного трубопровода считаем практически неизменной. Поэтому подача насоса снижается и рабочий режим может со временем выйти из зоны промышленного использования, что приведет к перерасходу электроэнергии водоотливной установки. Судить об этом можно по измеренной рабочей подаче насоса в данный момент: если она меньше минимально допустимой по паспорту насоса, то рабочий режим вышел за пределы зоны промышленного использования и его КПД будет меньше допустимого, т.е.  $\eta_{\text{н раб}} < 0,8\eta_{\text{н max}}$ . Минимально допустимые рабочие подачи насосов, используемых на водоотливных установках шахт, и их рабочие КПД приведены ниже в таблице 1.

Таблица 1 – Минимально допустимые рабочие параметры насосов

Тип насосов	Минимально допустимая подача		Рабочий $\eta$
	$\text{м}^3/\text{ч}$	$\text{м}^3/\text{с}$	
ЦНС 180x85...425	95	0,027	0,604
ЦНС 180x136...680	112	0,031	0,576
ЦНС 300x120...600	174	0,048	0,578
ЦНС 300x728...1040	161	0,045	0,609

Причинами снижения подачи насоса ниже допустимой могут быть: изменение частоты вращения вала насоса, связанное с изменением частоты сети или напряжения; гидроабразивный износ рабочих колес и уплотнений; увеличение расхода воды через разгрузку; изменение гидравлического сопротивления нагнетательной сети. Увеличению расхода электроэнергии способствует также рост гидравлического сопротивления всасывающего трубопровода насоса из-за заиливания премного устройства.

Долговечность шахтных насосов в значительной степени определяется гидроабразивным износом, что связано с загрязнением воды механическими примесями [2]. Работа на неосветленной шахтной воде приводит к износу щелевых уплотнений при объемных перетеканиях жидкости из нагнетательной полости во всасывающую. В результате повышается потребляемая мощность, снижаются подача, напор и КПД насоса. Поэтому за весь межремонтный период работы  $T_p$  эксплуатационный КПД насоса можно оценить как отношение полезной энергии за это время к затраченной:

$$\eta_{\text{ЭН}} = \frac{\rho g \int_0^{T_p} H(t)Q(t) \cdot dt}{\int_0^T N(t)dt}, \quad (20)$$

При этом необходимо учитывать, что износ щелевых уплотнений и соответственно снижение напора  $[H(t) \text{ и } Q(t)]$ , а также изменение потребляемой мощности  $N(t)$  насоса носят нелинейный характер. Более 40% отказов у насосов связаны со снижением параметров вследствие износа щелевых уплотнений ротора и, в первую очередь, рабочих колес.

Анализ влияния твердого компонента шахтной воды на мощность и КПД насоса показал, что основными причинами уменьшения КПД являются увеличение потерь мощности на гидравлические и механические (дисковые) потери. При этом максимум КПД на неосветленной шахтной воде смещается в сторону меньших подач по сравнению с максимумом при работе насоса на осветленной воде. В узком диапазоне относительных подач насоса на загрязненной шахтной воде  $\bar{Q}_{\text{СМ}} = 0,8 \dots 1,1$  ( $\bar{Q}_{\text{СМ}} = Q_{\text{СМ}} / Q_0$ ) можно пользоваться уравнением для определения КПД насоса:

$$\eta_{\text{СМ}} = 1,2 \eta_{\text{Н}} / \bar{\rho}_{\text{СМ}} \cdot d_{\text{СР}}^{0,02}, \quad (21)$$

где  $d_{cp}$  – средний размер твердого в шахтной воде;  $\bar{\rho}_{см} = \rho_{см} / \rho$  – относительная плотность гидросмеси.

Отношение опытных значений от величин, подсчитанных по уравнению (21) не превышает 3%. Исключением являются режимы работы с явной кавитацией или близкие к ним. Из последнего уравнения видно, что зависимость  $\eta_{см} = f(d_{cp})$  для наиболее часто транспортируемых шахтных вод весьма слабая. Этот факт и объясняет причину того, что многие исследователи, экспериментировавшие с мелкофракционным твердым материалом, пришли к выводу, что КПД насоса на гидросмеси не зависит от крупности перекачиваемых частиц. Однако, они не учли того, что при работе насоса на гидросмеси происходит интенсивная шлифовка его проточной части и это приводит к значительному уменьшению гидравлических потерь. Поэтому у всех новых насосов до износа уплотнений и элементов рабочего колеса в первое время работы следует ожидать повышения общего КПД, а с износом уплотнительных колец он начинает постепенно уменьшаться, что является общеизвестным фактором.

Снизить гидроабразивный износ насосов можно за счет осветления шахтных вод от предельно допустимых твердых частиц  $\geq 0,1$  мм в предварительных отстойниках, устраиваемых перед водосборниками.

В настоящее время практически на всех шахтах при отработке уклонных полей применяется ступенчатая схема с наличием на каждом горизонте оборудованной водоотливной установки, что создает сложности обслуживания и технического контроля вследствие децентрализации. На многих шахтах откачка воды с нижнего горизонта производится не последовательно с горизонта на горизонт, а через несколько горизонтов. Приток воды с промежуточных горизонтов по трубопроводам сбрасывается на нижележащие в водосборники водоотливных установок откуда откачивается вместе с притоком нижнего горизонта. Расстояние по вертикали между такими промежуточными горизонтами составляет 100...150 м, а расход воды 60...200 м<sup>3</sup>/ч. Применение такой схемы водоотлива хотя и снижает капитальные затраты и трудоемкость обслуживания, но приводит к значительному перерасходу электроэнергии за счет подъема воды насосами на высоту между горизонтами, с которой она поступила. Мощность, затрачиваемая на эту непроизводительную работу:

$$\Delta N = \rho g Q \cdot H_{гп} / \eta_n, \quad (22)$$



где  $Q$  – расход воды, поступающей с верхнего на нижележащий горизонт;  $H_{гп}$  – расстояние по вертикали между промежуточными горизонтами;  $\eta_n$  – КПД насоса на нижнем горизонте.

Расчеты показывают, что годовой расход электроэнергии на перекачку перепускной воды только по шахтам ГХК "Донецкуголь" составляют 2610480 кВт-ч.

Использование энергии перепускаемых водопритоков может идти двумя путями – путем раздельной или совместной откачки водопритоков обеих горизонтов насосами водоотливной установки. При раздельной откачке вода с верхних горизонтов подводится во всас насосов при полном напоре перепускаемого потока. Значительный подпор на всасе насоса приводит к повышению подачи насоса и мощности приводного электродвигателя, что крайне нежелательно.

Можно использовать в определенных условиях энергию нисходящего водяного потока для производства сжатого воздуха с помощью гидрокомпрессора. В этой установке величина избыточного давления сжатого воздуха будет определяться величиной  $H_{гп}$  и расходом воды  $Q$ . Отработанная вода затем откачивается насосами нижнего горизонта на поверхность. Такая схема позволяет снизить непроизводительный расход электроэнергии на водоотливе. Совместная откачка водопритоков предполагает подвод воды с верхних горизонтов во всасывающий трубопровод насосов с одновременной откачкой притока основного горизонта. Использование энергии воды верхних горизонтов будет зависеть от потерь при смешивании потоков во всасывающем трубопроводе насосной установки.

Некоторые авторы [3] предлагают при совместной откачке водопритоков подвод воды с верхних горизонтов во всасывающий трубопровод насоса осуществлять с помощью гидроэлеватора, в котором происходит подмешивание потока воды основного горизонта, поступающей по всасывающему трубопроводу. В связи с тем, что при смешивании потоков в гидроэлеваторе получают большие потери энергии (до 80%) перепускаемого потока, то эффективность работы такой системы существенно ниже, чем при прямой откачке.

КПД гидроэлеватора при этом будет равен

$$\eta_{гэ} = H_{ст} \cdot Q_n / H_{гэ} \cdot Q, \quad (23)$$

где  $H_{ст}$ ,  $H_{гэ}$  – соответственно напоры на входе и выходе гидроэлеватора;  $Q_n$  – расход воды из водосборника основного (нижнего) горизонта.

Напор на входе в гидроэлеватор определяется характеристикой сбросного (сифонного) трубопровода

$$H_{CT} = H_{ГП} - a_{CT} \cdot Q^2, \quad (24)$$

где  $a_{CT}$  – сопротивление сифонного трубопровода.

С учетом коэффициента подачи гидроэлеватора  $\beta = Q_H/Q$ , характеристика последнего примет вид:

$$H_{ГЭ} = \left[ H_{ГП} - a_{CT} \cdot Q^2 / (1 + \beta)^2 \right] \eta_{ГЭ} / \beta, \quad (25)$$

Приведенная характеристика насоса нижнего горизонта будет иметь вид:

$$H = H_0 + \eta_{ГЭ} \cdot H_{ГП} / \beta - \left[ S + \eta_{ГЭ} \cdot a_{CT} / \beta \cdot (1 + \beta)^2 \right], \quad (26)$$

где  $H_0$  – напор насоса при закрытой задвижке;  $S$  – коэффициент, характеризующий крутизну напорной характеристики насоса.

При совместном решении с уравнением характеристики трубопровода получено выражение для определения подачи насоса  $Q_{HP}$  в рабочем режиме:

$$Q_{HP} = \frac{(H_0 + \eta_{ГЭ} \cdot H_{ГП} / \beta)}{\left( a_{TP} + S + \eta_{ГЭ} \cdot a_{CT} / \beta \cdot (1 + \beta)^2 \right)}, \quad (27)$$

Анализ этого уравнения показывает, что при увеличении коэффициента  $\beta$  прирост подачи насоса нижнего горизонта по отношению с прямой откачкой (перепуск воды в водосборник нижнего горизонта и откачке суммарного водопритока насосами водоотливной установки) интенсивно снижается и при значении  $8 \geq \beta \geq 6$  составляет 1...2%, а при  $\beta \geq 9$  – менее 1%.

Бесполезный расход энергии по поднятию шахтной воды, сбрасываемый с вышележащего горизонта в водосборник нижележащего, можно устранить путем применения схемы последовательно работающих насосов на нижнем горизонте. Такая схема водоотлива известна давно [4]. Работает водоотливная установка по этой схеме следующим образом: вода с верхнего горизонта поступает во всас насоса, в который последовательно включен второй насос, откачивающий воду из водосборника нижнего горизонта на поверхность шахты. Таким образом, при работе этой установки, состоящей из двух последовательно включенных насосов и подключенного между ними трубопровода с верхнего горизонта, происходит одновременная откачка шахтной воды с двух горизонтов. В этой схеме значительно повышается экономичность водоотлива, ликвидируются водоотливные

установки на промежуточном горизонт, и непроизводительный расход электроэнергии:

$$C_{\text{ЭЛ}} = \frac{\Delta N \cdot (305 \cdot t_{\text{Н}} + 60 \cdot t_{\text{М}})}{\eta_{\text{Д}} \cdot \eta_{\text{С}}}, \quad (28)$$

здесь:  $t_{\text{Н}}$  и  $t_{\text{М}}$  – соответственно время по откачке нормального и максимального суточного притока воды, сбрасываемого с вышележащего горизонта.

Эта схема водоотлива более предпочтительна по сравнению с предыдущей.

В связи с нерентабельностью количество шахт, подлежащих закрытию и консервации в Украине, постоянно увеличивается. При этом необходимо решать такие вопросы: во-первых, исключение подтопления населенной территорий в окрестностях шахтных полей в случае полной остановки шахтного водоотлива, во-вторых – создание новых рабочих мест для освобождающихся горных рабочих, которые были бы близки по характеру труда и его квалификации к условиям и квалификации труда шахтеров. В этом плане интересным представляется вопрос использования шахтного ствола и оборудования главной или центральной водоотливной установки для создания линии ГАЭС – небольших гидроаккумулирующих электростанций. Опыт проектирования и эксплуатации таких мини электростанций на ниспадающих участках магистральных нефтепроводов имеется. При этом максимальное использование и модернизация серийного оборудования (в том числе насоса и электродвигателя) позволили бы решить задачу минимальных затрат и сроков введения в работу установок. Внедрение данного предложения в угольной промышленности Донбасса позволит в определенной степени решить вышеназванные проблемы.

## ВЫВОДЫ

1. Расход электроэнергии шахтной водоотливной установки зависит от: рабочего режима насоса; параметров трубопровода, его условного угла наклона  $\alpha_0$ , КПД трубопровода; технологической схемы водоотлива.

2. При работе насоса на трубопровод, имеющий диаметр меньше оптимального, превышение напора и перерасход электроэнергии будут тем больше, чем меньше условный угол наклона  $\alpha_0$ . Особенно характерно последнее для участков водоотливных установок с малыми значениями условного угла наклона.

3. Снизить гидроабразивный износ насоса, а значит повысит его КПД и уменьшит перерасход электроэнергии, можно только за счет осветления шахтных вод от твердых частиц с размером более 0,1 мм и путем исключения кавитационных режимов работы в результате зашламливания шахтных водосборников и приемных колодцев.

4. При отдельной откачке водопритоков обоих горизонтов насосами водоотливной установки, энергию нисходящего потока шахтной воды, в определенных условиях, желательно использовать для производства сжатого воздуха с помощью гидрокомпрессора.

5. Совместная откачка водопритоков двух горизонтов более эффективно при использовании схемы последовательно работающих насосов на нижнем горизонте.

6. Для закрываемых или консервируемых угольных шахтах возможно создание мини ГАЭС с использованием оборудования главной или центральной водоотливной установки.

#### Список источников

1. Беликов П.Ф., Нечушкин Г.М. Влияние параметров участковой водоотливной установки на расход электроэнергии и напор насоса. Труды ИГМ ТК им. М.М. Федорова. Сб. 21. "Вопросы горной механики", М., Недра, 1970, с. 17 – 22.
2. Виноградов В.Б. Повышение долговечности насосов шахтного водоотлива // Уголь Украины. – 1999. - №5.
3. Мазуренко В.В., Сапин Д.К., Тимохин Ю.В. Эффективность использования энергии водопритоков верхних горизонтов в шахтных водоотливных установках. Сборник научных трудов "Горная механика" (выпуск 1, часть 2, Донецк, 1991). НИИ горной механики им. М.М. Федорова.
4. Гейер В.Г., Тимошенко Г.М. Шахтные вентиляторные и водоотливные установки: Учебник для вузов. – М.: Недра, 1987, 270 с.