

УДК 622.5(004.17)

Э.И. Антонов, д-р техн. наук, НИИГМ им. М.М.Федорова,
А.Н. Галанин, инженер, ООО «ДТЭК Добропольеуголь»

РЕЗЕРВЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ ЭКОНОМИЧНОСТИ И НАДЕЖНОСТИ УСТАНОВОК ГЛАВНОГО ВОДООТЛИВА ШАХТ

В статье дан анализ резервов повышения эксплуатационной экономичности и надежности главных водоотливных установок шахт. В качестве одного из наиболее эффективных резервов такого повышения рассматривается перевод мощных насосов на эксплуатацию с подпором на их всасе.

Ключевые слова: главный водоотлив, экономичность, надежность, насосы водоотлива, удельные энергозатраты, подпор на всасе, режимы работы насосов.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.

Проблема повышения эксплуатационной надежности и экономичности главных водоотливных установок приобрела за последние десятилетия исключительную актуальность. Обусловлено это прежде всего тем, что, как показывают результаты экспериментальных производственных исследований, средний ресурс наиболее распространенных на водоотливе насосов ряда ЦНС не превышает 1400...2000 часов, а КПД главного водоотлива отрасли в целом не превышает 0,45...0,46, что свидетельствует о низкой энергетической его эффективности.

Анализ результатов многолетних обследований установок, выполненных специалистами НИИГМ им.М.М.Федорова показал, что среди основных факторов, определяющих общий уровень надежности и экономичности водоотлива особое место занимает круг вопросов, касающихся обеспечения безкавитационной работы насосов. Особое его значение обусловлено тем, что в режимах интенсивного кавитационного изнашивания эксплуатируется подавляющее число (более 60...70%) насосов главного водоотлива и исключить такие режимы без применения дополнительных средств не удастся. При этом потери напора во всасывающих трубопроводах составляют 1,5...4 м, что заметно превышает допустимую их величину, равную 0,5...0,8 м. Известные методы и средства исключения кавитационных режимов работы часто либо недостаточно просты, либо сами не обладают требуемыми показателями экономичности и надежности. Некоторую негативную роль при этом играет также недооценка энергомеханиче-

скими службами угольных предприятий практической важности данной проблемы.

Анализ исследований и публикаций. Как следует из зарубежного опыта и анализа результатов многолетних исследований, выполненных НИИГМ имени М.М.Федорова [1-4], устранение указанных недостатков и противоречий, при одновременном резком повышении ресурса насосов и экономичности водоотлива в целом, может быть достигнуто за счет обеспечения работы насосов водоотлива с подпором. Только в этом случае можно полностью устранить кавитацию и подсосы воздуха на всасе, снизить до приемлемого уровень вибрационных нагрузок, обеспечить надежную предпусковую заливку насосов и устранить целый ряд других эксплуатационных недостатков. При этом весьма важно, что одновременно работа насосов водоотлива с подпором обеспечивает возможность значительного снижения затрат электроэнергии на энергоемкий процесс откачки воды.

Постановка задачи. Целью работы является: оценка степени снижения затрат электроэнергии на водоотливе при исключении кавитационных режимов эксплуатации насосов водоотлива и обоснование целесообразности перевода их на работу с подпором; краткое рассмотрение других факторов, направленных на повышение технико-экономического уровня водоотлива в целом.

Изложение материала и результаты. Оценим возможность снижения затрат электроэнергии за счет обеспечения работы насосов водоотлива с подпором как на примере наиболее распространенных на водоотливе насосов типа ЦНС 300-120...600, так и на основе анализа экспериментальных исследований характеристик насоса высокорасходного ЦНСГ 850-360.

Удельные затраты электроэнергии на водоотливе могут быть определены исходя из выражения мощности насоса

$$N = \rho g Q H / 3600 \cdot 1000 \cdot \eta, \text{ кВт}, \quad (1)$$

где ρ – плотность откачиваемой воды, кг/м³;

g – ускорение свободного падения, м/с²;

H, Q, η – соответственно напор (м), подача (м³/ч), КПД насоса.

Исходя из приведенного выражения может быть установлена зависимость для определения удельных затрат энергии, приходящихся на единицу веса или объема откачиваемой жидкости. С этой целью представим выражение (1) в виде:

$$\frac{3,6 \cdot 10^6 \cdot N}{\rho g Q} = \frac{H}{\eta}, \quad (2)$$

в котором отношение H/η выражает количество энергии (в кг/м), расходуемой на откачку 1 кг воды. Отсюда удельные затраты энергии $H_{уд}$, которые приходятся на единицу веса откачиваемой воды можно представить как

$$H_{уд} = \frac{H}{\eta}. \quad (3)$$

Поскольку напор H и η насоса зависят от режима его работы, т.е. от подачи Q , то и $H_{уд}$ является функцией подачи:

$$H_{уд}(Q) = \frac{H(Q)}{\eta(Q)}. \quad (4)$$

Далее, с целью раскрытия общих закономерностей влияния режимов работы системы «насос-трубопроводная сеть», и ряда других эксплуатационных факторов, на удельные энергозатраты системы, введем следующий относительный параметр удельных энергозатрат

$$\bar{H}_{уд} = \frac{H}{\eta \cdot H_{ОПТ}} = \frac{\bar{H}}{\eta}, \quad (5)$$

где $H_{ОПТ}$ – напор насоса на оптимальном режиме его работы; $\bar{H} = H / H_{ОПТ}$.

По аналогии с (4) можно записать, что

$$\bar{H}_{уд}(\bar{Q}) = \frac{\bar{H}(\bar{Q})}{\eta(\bar{Q})}, \quad (6)$$

где $\bar{Q} = Q / Q_{ОПТ}$ – относительный коэффициент подачи насоса; Q – подача насоса на рабочем его режиме; $Q_{ОПТ}$ – подача насоса на оптимальном режиме.

Параметр $\bar{H}_{уд}$ является одним из критериев подобия рассматриваемой системы. При этом он, как и коэффициенты \bar{H} и \bar{Q} , не зависит от числа Z ступеней насоса, диаметров рабочих колес подобных насосов и числа n_p параллельно включенных насосных агрегатов (с одинаковым числом ступеней Z). Отмеченная совокупность обобщающих качеств относительного коэффициента $\bar{H}_{уд}$ позволяет устанавливать с помощью использования характеристики $\bar{H}_{уд}(\bar{Q})$ наиболее общие закономерности влияния режимов работы на величину удельных энергозатрат водоотливных установок.

На рис. 1 представлені відносні характеристики насоса типу ЦНС 300-120...600: каталожні удельні енергозатрати – $\bar{H}_{уд}(\bar{Q})$ (крива 1); напорна характеристика насоса $\bar{H}(\bar{Q})$, відповідаюча його каталожній характеристиці (крива 2); напорна характеристика трубопроводу $\bar{H}(\bar{Q})$ (крива 3) при $\bar{H}_Г=0,9$, где $\bar{H}_Г = H_Г / H_{опт}$ - відносна геометрична висота нагнетання; характеристика КПД насоса $\eta_H(\bar{Q})$ (крива 4); експериментальна характеристика удельних енергозатрат (крива 5).

На рис.1 представлені також відносні характеристики \bar{H} і $\bar{H}_{уд}$ насоса типу ЦНСГ 850 – відповідно криві 6 і 7. Як видно, останні, особливо крива 7, мало відрізняються від відносних характеристик насоса ЦНС 300. Тому все сказане про насос ЦНС 300 практично в повній ступені характеризує і насос ЦНСГ 850.

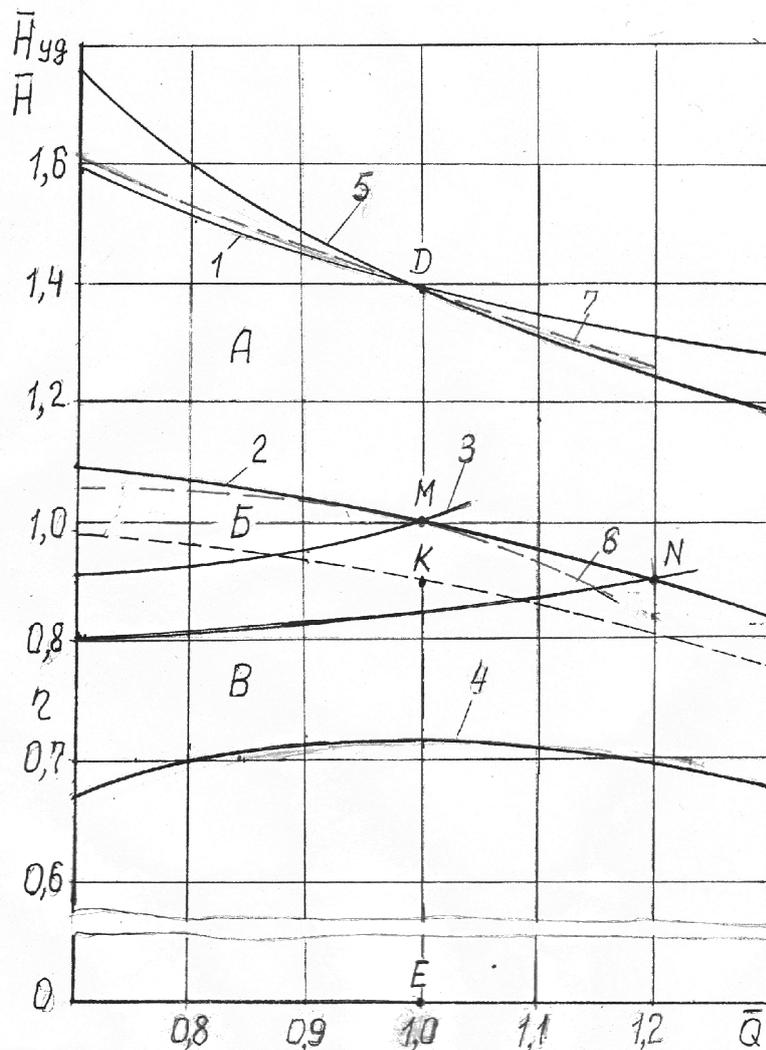


Рис.1. Відносні характеристики насосів ЦНС 300-120...600 і ЦНСГ 850-360

Обозначены следующие области потерь энергии в относительном выражении: А – потери в насосе; Б – потери в трубопроводе; В – совершаемая насосом полезная работа.

Далее, режим работы системы «насос-трубопровод» на номинальной подаче $\bar{Q}=1,0$ определяется точкой М. При этом отрезок DE представляет собой суммарные относительные удельные затраты энергии; отрезок EK – относительную удельную полезную работу; отрезок KM – относительные удельные потери энергии в трубопроводе; отрезок MD – относительные удельные потери энергии в насосе.

Как следует из формы характеристики $\bar{H}_{уд}(\bar{Q})$ (кривые 1 и 7 на рис. 1), величина $\bar{H}_{уд}$ непрерывно снижается по мере увеличения подачи \bar{Q} насоса. Очевидно, что это обуславливает целесообразность преимущественной работы системы в правой части характеристики насосов, независимо от числа параллельно включенных агрегатов или количества их ступеней.

Благодаря работе насосов с подпором, появляется возможность заметного расширения рабочей части характеристики насосов вправо, обуславливающего дополнительное расширение зоны их экономичных режимов.

Рассмотрим зависимость $\bar{H}_{уд}(\bar{Q})$ (кривая 5 на рис. 1), отражающую результаты экспериментальных исследований 83 насосов наиболее распространенного на водоотливе типа ЦНС 300 (более 70% от общего числа агрегатов на водоотливе). Как установлено, средняя по отрасли фактическая подача насосов ЦНС 300, формирующаяся в процессе интенсивного эксплуатационного снижения их рабочих характеристик, составляет $240 \text{ м}^3/\text{ч}$, или в относительном виде - $\bar{Q}_{CP}=0,8$, при которой имеем (рис. 1) величину $\bar{H}_{уд} \approx 1,59$. За счет работы насосов с подпором вполне реально обеспечить среднюю эксплуатационную подачу $\bar{Q}_{CP} \approx 1,1$, при которой $\bar{H}_{уд} \approx 1,34$. В этом случае можно ожидать снижения удельных энергозатрат не менее чем на 15,7%. При расширении рабочей зоны насосов до режима $\bar{Q} \approx 1,27$ ($Q = 380 \text{ м}^3/\text{ч}$) можно обеспечить среднее значение $\bar{Q}_{CP} \approx 1,15$. В этом случае удельные энергозатраты снизятся до уровня $\bar{H}_{уд} \approx 1,32$, или на 17%.

Рассмотрим размерные характеристики насосов типа ЦНСГ 850-360 (ЦНС 850) с учетом особенностей их работы на водо-

отливной установке гор.330 м шахты «Новодонецкая». На рис. 2 приведены характеристики: удельных энергозатрат (размерность - $\text{кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^3$) – кривая 1; напорные характеристики насоса и трубопроводной сети (трубопровод диаметром 425 мм) – кривые 2 и 3; КПД насоса – кривая 4; характеристика требуемого кавитационного запаса – кривая 5.

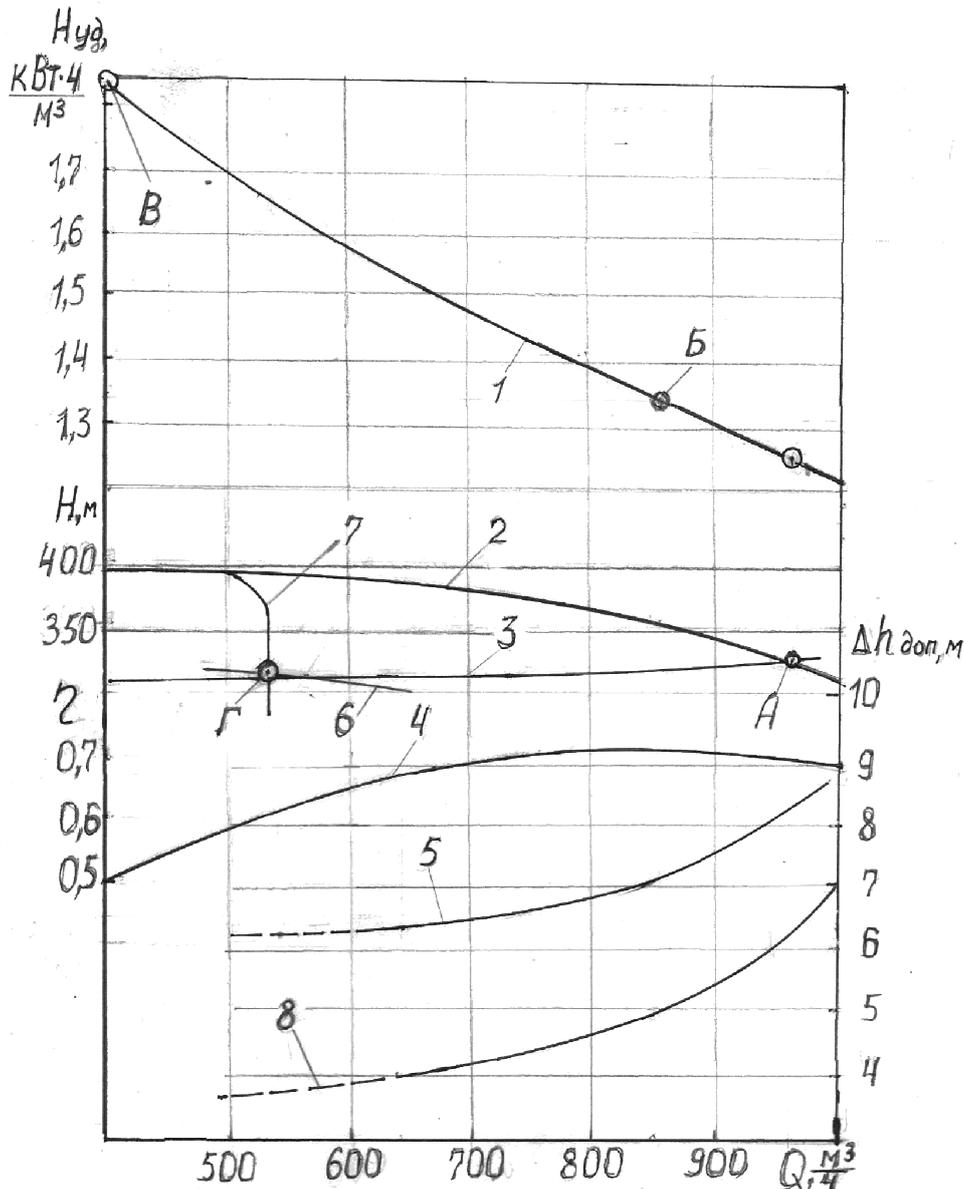


Рис.2. Размерные характеристики насоса ЦНСГ 850-360

При исключении кавитационных режимов работы новый насос ЦНСГ 850-360 может обеспечить режим работы с подачей $Q \approx 965 \text{ м}^3/\text{ч}$ – точка А. Фактические режимы работы такие: насос №1 – $262 \text{ м}^3/\text{ч}$; насос №5 – $532 \text{ м}^3/\text{ч}$. Первый из указанных агрегатов характеризуется резким снижением его напорной характеристики, главным образом, вследствие кавитационного износа. Насос №5 также имеет заметно

сниженные характеристики. Однако в этом случае снижение их возможно как вследствие износа (условная кривая 6), так и вследствие кавитационного срыва напорной характеристики, что показано кривой 7. Как следует из кривой 5, требуемый кавитационный запас $\Delta h_{ДОП}$ насоса ЦНСГ 850 на указанном режиме должен быть не менее 6,1 м.

Учитывая, что на режиме с подачей $532 \text{ м}^3/\text{ч}$ фактическая вакуумметрическая высота всасывания составляет 3,6 м, т.е. фактический кавитационный запас равен примерно 6,4 м, вполне вероятно, что одной из основных причин снижения подачи является кавитационный срыв характеристики насоса (режим работы в точке Г).

В целом, исходя из зависимости $\Delta h_{ДОП}(Q)$ насоса типа ЦНСГ 850, можно сделать общий вывод о том, что обеспечить надежную и эффективную эксплуатацию его с положительной высотой всасывания практически невозможно. Более благоприятной является характеристика требуемого кавитационного запаса $\Delta h_{ДОП}(Q)$ для насоса ЦНС 850-360 – кривая 8. Однако при этом, как и в случае с насосами типа ЦНС 300, вследствие недостаточной всасывающей способности в приоптимальной и правой, заоптимальной, части рабочей зоны насосов (для насоса ЦНС 850 при подачах ориентировочно более $700 \text{ м}^3/\text{ч}$) имеют место развитые кавитационные режимы работы, результатом чего является резкое снижение напорной и энергетической их характеристик.

На практике это приводит к снижению ресурса работы насосов в $2\div 3$ раза и более и к весьма резкому повышению затрат электроэнергии. Рассмотрим более детально последнюю особенность с помощью характеристик, представленных на рис. 2. Как видно, на расчетном режиме с подачей $965 \text{ м}^3/\text{ч}$ (точка А) значение удельных энергозатрат $N_{уд} \approx 1,24 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^3$. В то же время на режиме $Q \approx 532 \text{ м}^3/\text{ч}$ величина $N_{уд}$ увеличивается до $N_{уд} \approx 1,66 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^3$, т.е. в 1,34 раза, что весьма ощутимо и, в принципе, должно быть исключено.

Выполним ориентировочную оценку степени снижения затрат электроэнергии на водоотливе гор.320м при осуществлении эксплуатации насосов ЦНСГ 850 с подпором. Среднюю фактическую подачу $Q_{СР.Ф} \approx 400 \text{ м}^3/\text{ч}$ принимаем на основе учета фактических значений подач насосов №5 и №1. При работе насосов ЦНСГ 850 с подпором вполне обосновано ставить задачу обеспечения, при существующей сети трубопроводов, средней эксплуатационной подачи насосов (по-

сле их ремонта или приобретения новых агрегатов) равной $Q_{ср.э} \approx 850 \text{ м}^3/\text{ч}$. Теперь с помощью характеристики $H_{уд}(Q)$ (рис. 2) устанавливаем, что для указанных режимов работы значение $H_{уд}$ соответственно равны: 1,7 (правее точки В) и 1,35 кВт·ч/м³ (точка Б). При этом важно отметить, что в рассматриваемом случае используются данные каталожной характеристики удельных энергозатрат. С учетом установленной выше разницы между фактической и каталожной характеристиками энергозатрат определяемое расчетом снижение затрат электроэнергии является заниженным. Далее, используем следующую формулу для оценки разницы $\Delta E_{год}$ расходуемой годовой электроэнергии в рассматриваемых режимах работы:

$$\Delta E_{год} = 1,05\kappa(H_{уд1} - H_{уд2}) \frac{24 \cdot 365 \cdot Q_{пр}}{\eta_{дв} \cdot \eta_{с}}, \quad (7)$$

где $H_{уд1}$, $H_{уд2}$ - удельные энергозатраты в вариантах работы с положительной и отрицательной высотой всасывания; $Q_{пр}$ - часовой водоприток; $\eta_{дв}$, $\eta_{с}$ - КПД привода и сети; κ - доля насосов ЦНСГ 850 по откачке водопритока. Подставляя значения $H_{уд1}=1,7$, $H_{уд2}=1,35$, $Q_{пр} \approx 868 \text{ м}^3/\text{ч}$; $\eta_{дв} = 0,95$; $\eta_{с} = 0,97$; $\kappa = 2/3$, получаем, что $\Delta E_{год} \approx 2,4$ млн. кВт·ч.

Учитываем также, что при использовании наиболее вероятного варианта создания подпора с помощью подкачивающих гидроэлеваторов будут иметь место дополнительные затраты электроэнергии, в размере примерно $0,15 \Delta E_{год} \approx 364000$ кВт·ч. Отсюда экономия в расходе электроэнергии составит не менее 2 млн. кВт·ч в год.

В случае обеспечения преимущественного использования насосов ЦНСГ 850 для откачки притока (насосы ЦНС 300-360 на установке используются в основном в качестве резервных), при котором коэффициент $\kappa \approx 1$, значение $\Delta E_{год} \approx 3,0$ млн.кВт·ч в год. Таким образом, из представленной оценки вытекает, что при обеспечении работы насосов ЦНСГ 850 подпором его широкое применение является экономически весьма выгодным для угольных предприятий, в том числе и для целей водоотлива шахты «Новодонецкая». При этом, несмотря на то, что появляется дополнительное оборудование, процесс эксплуатации насосов ЦНСГ 850, и установки в целом, заметно упрощается. Обеспечивается это, в частности, благодаря более надеж-

ному и простому процессу предпусковой заливки и значительному увеличению ресурса насоса ЦНСГ.

Наряду с вышеприведенным к основным резервам повышения надежности и экономичности главных водоотливных установок необходимо отнести:

- осуществление выбора оборудования системы «насос-трубопроводная сеть» водоотливной установки в соответствии с рекомендациями НИИГМ им.М.М.Федорова;
- детальное обследование каждой главной водоотливной установки с инструментальным определением фактических показателей режимов работы насосов водоотлива. На основе таких обследований становится возможным определение наиболее эффективных технических решений и научно-технических рекомендаций, пригодных для каждой конкретной установки;
- обеспечение контроля эксплуатационного снижения рабочих характеристик шахтных насосов, которое не должно превышать 10÷15%;
- восстановление на значительной части водоотливов проектной пропускной способности напорных трубопроводов, что снизит потери напора в них, обеспечит повышение их КПД и подачи насосов водоотлива. Средний эксплуатационный КПД трубопроводов составляет 0,9, что ниже рекомендуемых значений. На многих действующих водоотливах, вследствие отложения осадков на внутренних стенках труб, он снижен до уровня 0,8 и более;
- более широкое использование экономичных и надежных насосов ряда НСШ (ЦНСШ), КПД которых на 3-7% выше, чем аналогичный показатель широко распространенных на водоотливе насосов типа ЦНС;
- исключение зашламливания водосборников, что, в свою очередь, исключает интенсивное снижение напорных характеристик насосов водоотлива и частоту их включения в процессе эксплуатации.

Выводы и направления дальнейших исследований. Для эффективной реализации экономичных и надежных режимов работы насосов главного водоотлива на практике при одновременном устранении или смягчении целого ряда весьма существенных эксплуатационных недостатков (подсосов воздуха, кавитационного изнашивания насосов, надежной работы приемных клапанов, повышенного уровня виб-

рации и др.) и для повышения в 1,5...2 раза и более ресурса насосов водоотлива целесообразно осуществить перевод их на работу с подпором. Такой перевод при использовании надежных и экономичных средств создания подпора позволит поднять шахтный водоотлив на качественно новый уровень его развития.

В дальнейшем планируется выполнить экспериментальные исследования рабочих параметров мощных насосов водоотлива на одной из действующих водоотливных установок отрасли.

Список литературы

1. Антонов Э.И. Развитие теории, обоснование и обеспечение рациональных режимов работы шахтных водоотливных установок: автореферат дисс....докт.техн.наук: 05.15.16 «Горные машины» ДонГТУ / Э.И. Антонов. – Донецк, 1995. – 38с.
2. Антонов Э.И. Схема и оценка параметров шахтной водоотливной установки с насосно-струйной подкачивающей системой организации подпора / Э.И. Антонов // Горная механика: Сб.науч.тр. НИИГМ им. М.М.Федорова. – Донецк, 1991. - С.126-148.
3. Галанин А.Н. Совершенствование насосно - струйной системы создания подпора на входе насосов водоотлива / А.Н. Галанин // Проблеми експлуатації обладнання шахтних стаціонарних установок. Сб. научн. тр. НИИГМ им. М.М.Федорова. – 2007. – Вып. 101. – С. 227-236.
4. Малеев В.Б. Эффективность центробежно-струйных систем в составе шахтного водоотлива / В.Б. Малеев, Э.И. Антонов, В.А. Романов // Уголь Украины. – 1995. – №3. – С.47-48.

Стаття надійшла до редколегії 14.11.2011.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.І. Дворніков

Е.І. Антонов, О.М. Галанін. Резерви підвищення експлуатаційної економічності та надійності установок головного водовідливу шахт. У статті наданий аналіз резервів підвищення експлуатаційної економічності і надійності головних водовідливних установок шахт. Як один з найбільш ефективних резервів такого підвищення є перевід на експлуатацію потужних насосів з підпором на їх всасі.

Ключові слова: головний водовідлив, економічність, надійність, насоси водовідливу, питомі енерговитрати, підпір на всасі, режими роботи насосів.

E. Antonov, A. Galanin. Reserves of Increasing Operating Economy and Reliability of the Main Water Drainages of Mines. The analysis of the reserves of increase of operating economy and reliability of the main water drainages of mines is given in the article. One of the most effective reserves is the use of powerful pumps.

Keywords: main water drainage, economy, reliability, station pumps, specific losses of energy, head on intake, regimes of operation of pumps.

© Антонов Э.И., Галанин А.Н., 2011