

УДК 622. 53. 004

В.Б. Малеев, д-р техн. наук, проф.

Н.И. Скорынин, канд. техн. наук, проф.

А.А. Кудрявцев, ассистент

А.В. Малеев, инженер

Донецкий национальный технический университет

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ НА УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ

Увеличение потерь мощности на гидравлические и механические (дисковые) потери при работе центробежного насоса на загрязненной воде приводит к уменьшению коэффициента полезного действия (КПД) машины.

водоотлив шахты, центробежный насос, гидросмесь, потеря мощности, кавитация

Проблема и её связь с научными и практическими задачами.

В работе показано, что сбережения электроэнергии и повышения эффективности её использования можно достичь при правильном проектировании и эксплуатации насосных, вентиляторных и компрессионных установок.

Во-первых, на данную технологическую сеть следует правильно выбирать оборудование. Это обеспечит режимы работы машин с меньшим числом пусков и остановок; выключение мощных потребителей в часы пиковых нагрузок электросети; включение и выключение компрессоров в разном сочетании в зависимости от потребности в сжатом воздухе; согласование энергосберегающих режимов работы вентиляторов с характеристиками вентиляторных сетей регулированием их и т.д.

Во-вторых, обеспечить нормальное функционирование технологических сетей вышеназванных машин: повышение герметичности и устранение подсосов воздуха в вентиляционных каналах, ликвидация утечек воздуха, откачиваемой и подаваемой воды, сжатого воздуха; снижение аэродинамического сопротивления; применение высококачественной смазки для смазывания трущихся частей и т.д.

В-третьих, своевременно производить мероприятия по модернизации функционально-технологических систем в связи с изменениями требований и условий эксплуатации насосных, вентиляторных и компрессорных установок. Это и использование частотно-регулируемого электропривода, систем сбора и обработки информации о работе машин, применение систем плавного пуска компрессоров, переход на

новые энергоэффективные насосы, вентиляторы, компрессоры и многое другое.

Шахтные водоотливные установки являются наиболее энергоёмкими после вентиляторов главного проветривания и поэтому снижение энергозатрат при их обслуживании является актуальным.

Анализ исследований и публикаций. В работе [1] приведены основные мероприятия по экономии электрической энергии при работе водоотливных установок: уменьшение притока воды в шахту; соблюдение соответствия паспортных параметров насосов характеристике сети; предупреждение перепуска шахтной воды; использование давления столба воды главного става на орошение; регулирование производительности насоса; замена насосов старых типов на новые; уменьшение потерь напора в трубопроводе; регулярная очистка водосборников и повышение КПД насоса. Вопрос учёта одновременного влияния последних трёх факторов на энергозатраты водоотливной установки в работе отсутствуют.

Постановка задачи. В работе впервые делается попытка аналитического описания влияния содержания твёрдых частиц в шахтной воде на КПД насоса и установление путей снижения энергозатрат на водоотлив.

Изложение материала и результаты. Анализ влияния твёрдого компонента гидросмеси на мощность и КПД насоса показал, что основными причинами уменьшения КПД являются увеличение потерь мощности на гидравлические и механические (дисковые) потери [2]. 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 [3]:

$$\eta_{\text{ЭН}} = \frac{\int_0^{T_p} H(t)Q(t) \cdot dt}{\int_0^{T_p} N(t)dt} .$$

При этом необходимо учитывать, что износ щелевых уплотнений и соответственно снижение напора $H(t)$ и подачи $Q(t)$, а также изменение потребляемой мощности $N(t)$ насоса носят нелинейный характер. Все это оказывает влияние на экономичность водоотливных установок шахт Украины, так как оценку эффективности использова-

ния ими электроэнергии можно сделать по значению КПД. Фактически коэффициент полезного действия водоотливной установки $\eta_{\text{вод. уст}}$ равен произведению четырех КПД: насоса η_n , электродвигателя η_d , шахтной электрической сети η_c и трубопровода водоотливной установки $\eta_{\text{тр}}$

$$\eta_{\text{вод. уст}} = \eta_n \eta_d \eta_c \eta_{\text{тр}} .$$

Если учесть потери энергии во всей питающей сети, то с достаточной точностью КПД шахтной электросети можно считать постоянным и равным 0,98. 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.

КПД трубопровода при работе насоса с напором H_H и геометрической высоте водоподъема H_G определяется по зависимости $\eta_{\text{тр}} = H_G / H_H$. С учетом того, что напор насоса определяется рабочей подачей насоса Q_p и сопротивлением трубопровода $a_{\text{тр}}$, имеем:

$$\eta_{\text{тр}} = \frac{H_G}{H_G + a_{\text{тр}} Q_p^2} ,$$

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 (фактической длины L_c):

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

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

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 α_0 меньше фактического угла наклона α , под которым проложены трубы [4] и тогда: $\sin \alpha_0 = H_G / L_c$.

В этом случае напор, развиваемый насосом

$$H_H = L_c \left[\sin \alpha_0 + A_{\text{дл}} \left(1 + \frac{l_{\text{ЭКВ}}}{L_c} \right) Q_p^2 \right] .$$

КПД трубопровода:

$$\eta_{\text{ТР}} = \frac{\sin \alpha_0}{\sin \alpha_0 + A_{\text{ДЛ}} \left(1 + \frac{l_{\text{ЭКВ}}}{L_c} \right) Q_P^2}.$$

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 α_0 технологической схемы. Поэтому для схем с малыми условными углами наклона правильный выбор диаметра трубопровода оказывает большое влияние на энергетические показатели работы водоотлива.

Проведенный анализ эксплуатируемых трубопроводов показал, что большинство из них имеют заниженные диаметры как за счет неправильного проектирования, так и за счет интенсивного отложения осадка на внутренних стенках, этот фактор является одной из причин перерасхода электроэнергии на водоотливе.

Уравнение, выражающее зависимость величины дополнительных затрат на оплату электроэнергии при условии осадкообразования от эксплуатационных параметров трубопровода, имеет следующий вид [4]:

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

где $a_{\text{э}}$ – стоимость 1 кВт·ч электроэнергии;

L – длина трубопровода;

T – время эксплуатации трубопровода;

Q – расход воды по трубопроводу;

d_0 – оптимальный внутренний диаметр трубопровода.

При переходе работы центробежного насоса с воды на загрязненную шахтную воду с твердыми включениями, независимо от подачи систематически уменьшается вакуум во всасывающей патрубке насоса. Физически это объясняется тем, что вакуумметрическое давление $P_{\text{в}} = P_{\text{а}} - P_{\text{нп}} - \Delta P_{\text{к}}$. При этом в связи с переходом на откачку шламов давление насыщенных паров $P_{\text{нп}}$ и кавитационный запас насоса $\Delta P_{\text{к}}$ за счет увеличения диссипации энергии в подводе и при входе в колесо, а также выделения газа из пор твердого материала, несколько увеличивается [5]. При постоянном значении атмосферного давления $P_{\text{а}}$ это должно приводить к уменьшению $P_{\text{в}}$. Так как увеличение $P_{\text{нп}}$ и $\Delta P_{\text{к}}$ начинается с попаданием твердого компонента во всасывающий

патрубок, то уменьшение P_e является первым признаком перехода работы насоса на неосветленную шахтную воду. По характеру колебаний вакуума можно судить и о скорости протекания кавитационных явлений. При работе на неосветленной шахтной воде уменьшается подача насоса. Причем, это происходит в тот момент, когда твердый компонент находится еще в нем. Поэтому уменьшение подачи насоса увеличением сопротивления трубопровода объяснить нельзя и напрашивается очень важный вывод – сопротивление гидротранспортной системы увеличивается за счет отвода насоса при попадании в него твердых частиц. Действительно, пока твердые частицы находятся в рабочем колесе насоса и имеют относительную скорость большую, чем у жидкости, они являются генераторами напора [6]. При выходе твердых частиц из рабочего колеса скорость их резко падает и в отводе они уже представляют сопротивление потоку. Дополнительное приращение давления в отводе за счет частичного преобразования скоростного напора в статический происходит только у жидкости. Кинематическая энергия твердых частиц в значительной своей части переходит в тепло и затрачивается на износ корпуса насоса. Потери напора в отводе пропорциональны массе частиц и подаче. Естественно, что эти потери приводят к уменьшению напора насоса. При выходе же твердого материала из нагнетательного патрубка насоса, подача насоса всегда заметно увеличивается. Это объясняется тем, что порция шлама увеличивает сопротивление нагнетательного трубопровода весьма незначительно. За счет увеличения потери мощности в проточной части уменьшается КПД насоса и увеличивается расход электроэнергии.

Выводы и направление дальнейших исследований.

1. Увеличение потерь мощности (гидравлические и механические (дисковые) потери) при работе центробежного насоса на загрязненной воде приводит к уменьшению КПД машины. При этом максимум КПД на гидросмеси смещается в сторону меньших подач по сравнению с максимумом при работе насоса на однородной жидкости.

2. Снизить гидроабразивный износ насосов шахтного водоотлива, а значит повысить его коэффициент полезного действия η_n можно за счет осветления шахтных вод от предельно допустимых твердых частиц размером более 0,1 мм в предварительных отстойниках, устраиваемых перед водосборниками.

Список источников:

1. Энергосбережение в угольной промышленности: монография / Под ред. Б.А. Грядущего. - Донецк: НИИ ГМ им. М.М. Фёдорова, 2006. - 336 с.
2. Ломакин А. А. Центробежные и осевые насосы / А.А. Ломакин. – М.-Л.: Машиностроение, 1966. - 364 с.
3. Виноградов Б. В. Повышение долговечности насосов шахтного водоотлива / Б. В. Виноградов // Уголь Украины. – 1999. – №5. – С. 35-36.
4. Нащокин В.В. Техническая термодинамика и теплопередача / В.В. Нащокин. – М.: Высшая школа, 1969. - 558с.
5. Заря А. Н. Рабочая характеристика центробежного насоса на гидросмеси / А. Заря // Разработка месторождений полезных ископаемых. – 1973. – Вып. 32. – С. 100-105.
6. Силин Н. А. Режим работы крупных землесосных снарядов и трубопроводов / Н. А. Силин, С. Г. Коберник. – К.: АНУССР, 1962. - 216 с.

Стаття надійшла до редколегії 20.04.2011

Рецензент: зав. каф. «Гірничі машини» ДонНТУ, д-р техн. наук, проф. А.К.Семенченко

В.Б.Малеєв, М.Й.Скоринін, О.О.Кудрявцев, А.В.Малеєв. Енергозбереження на вугільних шахтах. Збільшення втрат потужності на гідравлічні і механічні (дискові) втрати при роботі відцентрового насоса на забрудненій воді приводить до зменшення коефіцієнта корисної дії (ККД) машини.

водовідлив шахти, відцентровий насос, гідросуміш, втрата потужності, кавітація

V. Maleev, N. Skorinin, A. Kudrjavzev, A. Maleev. Energy-savings on coal mines. The increase in losses of capacity at hydraulic and mechanical (disk) losses at work of the centrifugal pump on the polluted water results in reduction of efficiency of the machine.

pumping of mine, chempump, slurry, loss of power, kavitaciya

© Малеев В.Б., Скорынин Н.И., Кудрявцев А.А., Малеев А.В., 2011