УДК 622.532:621.6(06)

Ю.П.СТАШИНОВ, *канд. техн. наук, доцент, yustashinov@yandex.ru*
Д.А.БОЧЕНКОВ, *аспирант, yustashinov@yandex.ru*
В.В.ВОЛКОВ, *канд. техн. наук, доцент, yustashinov@yandex.ru*
Шахтинский институт (*филиал*)
Южно-Российского государственного технического университета
(*Новочеркасского политехнического института*),
г. Шахты, Ростовская область

Y.P.STASHINOV, *PhD in eng. sc., associate professor, yustashinov@yandex.ru*
D.A.BOCHENKOV, *post-graduate student, yustashinov@yandex.ru*
V.V.VOLKOV, *PhD in eng. sc., associate professor, yustashinov@yandex.ru*
The Novocherkask Polytechnical Institute

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ РЕЖИМА РАБОТЫ ГЛАВНЫХ ВОДООТЛИВНЫХ УСТАНОВОК ШАХТ И РУДНИКОВ

С учетом технологических особенностей главных водоотливных установок шахт и рудников предложены способ энергосберегающего регулирования режима работы основного насосного агрегата изменением частоты вращения одноколесного подкачивающего насоса средствами асинхронного частотно-регулируемого привода и экстремальная поисковая система регулирования с периодической подстройкой на работу насосной установки с минимальным удельным расходом электроэнергии.

***Ключевые слова*:** водоотливная установка, частотно-регулируемый привод.

ENERGY SAVING REGULATION OF THE MODE OF OPERATION MAIN WATER-OUTFLOW INSTALLATION

Taking into consideration technological features of the main mining water-removal plants, there are suggested: an energy saving method of their control and an extremal searching system using single-stage booster pumps with a variable-frequency induction motor drive.

***Key words*:** main mining water-removal, variable-frequency induction motor drive.

Главные водоотливные установки (ГВУ) шахт и рудников, оборудованные центробежными секционными насосами с высоковольтным асинхронным приводом напряжением 6 кВ и мощностью, как правило, более 500-600 кВт, относятся к наиболее энергоемким объектам указанных предприятий. Поэтому энергосберегающее регулирование режима их работы является важной и актуальной задачей.

Известны предложения по применению для этой цели асинхронного частотно-регулируемого привода насосных агрегатов [1, 5, 6] с учетом успешного опыта его работы на насосных установках промышленного и бытового водоснабжения с переменным водопотреблением [3, 4].

Однако при реализации этого предложения важно учитывать ряд существенных особенностей режима работы ГВУ. Наиболее важная из них – в течение суток необходимо откачать суточный приток шахтных вод, т.е. выполнить определенный объем полезной работы независимо от частоты вращения рабочих колес насосного агрегата. Снизить расход электроэнергии в этом случае можно только при работе насосной установки в режиме максимального КПД

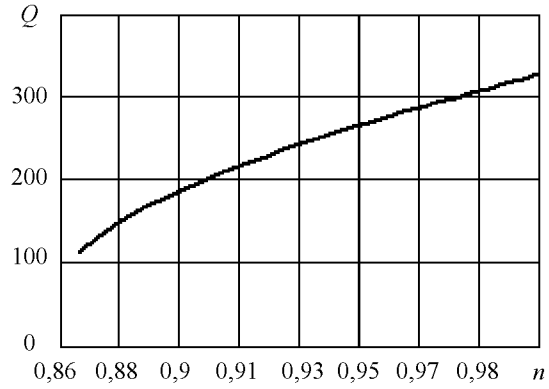


Рис.1. Зависимость подачи от относительной частоты вращения для центробежного секционного насоса с шестью рабочими колесами

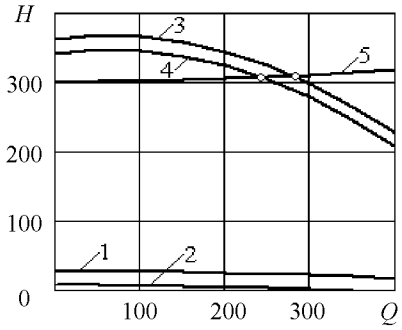


Рис.2. Напорные характеристики 1, 2 – подкачивающего насоса ВП-340-18Л; 3, 4 – насосного агрегата при относительной частоте вращения рабочего колеса подкачивающего насоса $n = 1$ и $n = 0,5$ соответственно; 5 – характеристика сети

(с минимальным удельным расходом энергии). Как показывают расчеты, такой режим соответствует мéньшей номинальной подаче (на 8-18 %) насоса при максимальной величине его КПД.

Вторая особенность – жесткая характеристика сети, благодаря чему для перевода насосной установки в энергоэффективный режим работы средствами электропривода достаточно регулировать частоту вращения вниз от номинальной в узком диапазоне с изменением напора в пределах доли напора, развиваемого одним рабочим колесом. На рис.1 приведена зависимость подачи Q от относительной частоты вращения $n = n / n_{\text{iii}}$ для центробежного насоса ЦНС 300-360, полученная с использованием данных примера расчета типовой водоотливной установки с тремя секционными насосами [3], уравнения напорной характеристики насоса. Зависимость напора H от подачи Q насоса имеет вид

$$H = H_0 n^2 + AnQ - BQ^2;$$

$$Q = \frac{An + \sqrt{A^2 n^2 + 4(B + R_{\text{ò}})(H_0 n^2 - H_{\text{ã}})}}{2(B + R_{\text{ò}})},$$

где H_0, A, B – коэффициенты аппроксимации напорной характеристики; $H_{\text{г}}$ – геодезическая высота подачи; $R_{\text{т}}$ – гидравлическое сопротивление (постоянная) трубопровода.

Как видно из рисунка, для уменьшения подачи на 20 % достаточно снижения частоты вращения примерно на 6 %.

Применение в этом случае регулируемого электропривода насосных агрегатов приводит к техническому противоречию: регулирующее воздействие оказывается на все рабочие колеса (при использовании для этого мощных высоковольтных дорогостоящих преобразователей частоты), тогда как для достижения необходимого результата достаточно было бы регулировать частоту вращения только одного рабочего колеса.

Для разрешения указанного противоречия предлагается использовать в составе насосных агрегатов одноколесные подкачивающие насосы, оборудованные низковольтным асинхронным частотно-регулируемым электроприводом мощностью десятки киловатт, и осуществлять регулирование режима работы водоотливной установки изменением частоты вращения рабочего колеса подкачивающего насоса.

В качестве примера, поясняющего предлагаемый метод регулирования (рис.2), приведем напорные характеристики насосного агрегата в составе центробежного насоса ЦНС 300-300 в комплекте с серийно выпускаемым подкачивающим насосом ВП 340-18Л.

Уменьшение подачи в этом случае составляет примерно 10 % при снижении частоты вращения рабочего колеса подкачивающего насоса в 2 раза.

Для расширения диапазона регулирования в качестве подкачивающих можно применить одноколесные насосы с несколько большими значениями подачи и напора.

Поскольку в процессе эксплуатации параметры насосов и трубопроводов изменяются, для реализации энергоэффективного режима предлагается экстремальная система управления (рис.3) с поиском по результатам измерения потребляемой мощности P и подачи Q, режима работы с минимальными удельными энергозатратами $E = P/Q \to \min$.

Учитывая, однако, что характеристики водоотливной установки в процессе эксплуатации изменяются сравнительно медленно, настройка на оптимальный по расходу электроэнергии режим работы может производиться периодически, например, только при каждом включении насосного агрегата.

Так как к техническим средствам измерения подачи Q при реализации поставленной задачи не предъявляются жесткие метрологические требования, с целью существенного упрощения и удешевления технического решения величину подачи можно оценивать косвенно из уравнения характеристики трубопроводной сети: $H = H_{\text{г}} + R_{\text{т}}Q^2$, где $R_{\text{т}}$ – постоянная трубопровода. По результатам измерения напора H на выходе насоса и подачи Q известными методами предварительно определяют величину $R_{\text{т}}$, а затем подачу насосного агрегата – косвенно по величине напора H: $Q = \sqrt{(H - H_{\text{ã}})/R_{\text{ò}}}$. По мере необходимости величина постоянной трубопровода $R_{\text{т}}$ может периодически уточняться.

Применение подкачивающих насосов повысит стоимость водоотливной установки, но, помимо обеспечения экономичного энергосберегающего регулирования режима работы, позволит дополнительно увеличить срок службы основных насосных агрегатов благодаря устранению кавитационных явлений, которые, как показывает опыт эксплуатации, в той или иной степени проявляются на многих главных водоотливных установках шахт. При этом следует иметь в виду, что ряд центробежных секционных насосов, например, ЦНС 300-650 … 1300 с отрицательной допустимой высотой всасывания предназначены для работы только с подкачивающими насосами [3].

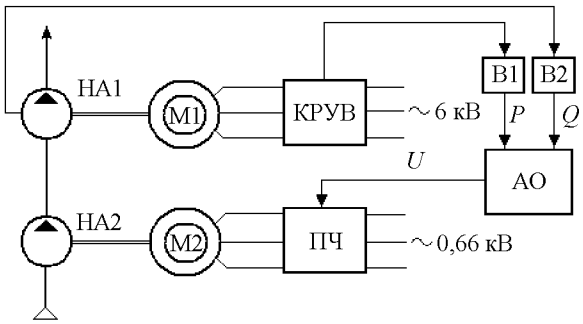


Рис.3. Функциональная схема системы энергоэффективного регулирования режима работы водоотливной установкой

ЛИТЕРАТУРА

1. *Бабокин Г.И.* Энергосбережение в насосных станциях водоотлива средствами регулируемого электропривода // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2005. № 11.

2. *Ильинский Н.Ф.* Электропривод в современном мире // Сб. материалов 5-й Международной (XVI Всероссийской) науч. конф., 18-21 сентября 2007. СПб, 2007.

3. *Попов В.М.* Водоотливные установки: Справочное пособие. М.: Недра. 1990.

4. *Ремезов А.Н.* Некоторые аспекты применения частотно-регулируемого электропривода на теплоснабжающих предприятиях ЖКХ / А.Н.Ремезов, А.В.Сорокин // Приводная техника. 2007. № 3.

5. *Тимухин С.А.* Математические модели функционирования и оптимизации комплексов главных водоотливных установок // Горный журнал. 2002. № 4.

6. *Черняховский Р.Л.* Адаптация режимов работы электромеханических комплексов шахтного водоотлива к графикам энергосистемы в условиях переменных водопритоков: Автореф. дис ... канд. тех. наук. СПб, 2003.

REFERENCES

1. *Babokin G.I.* Energy saving at the water drainage pumps stations by means of the variable drive // Mining informational and analytical bulletin. 2005. N 5.

2. *Ilinsky N.F.* Electric drive in the modern word // Proceedings of the fifth international (XVI All-Russian) conference on the electric drive, 18-21 September 2007. Saint Petersburg, 2007.

3. *Popov V.M.* Water-removal plants: reference manual. Moscow: Nedra, 1990.

4. *Remezov A.N., Sorokin A.V.* Some aspects of frequency controlled drive applications at the heat supplying enterprises of HMS // Drives technique. 2007. N 7.

5. *Timuhin S.A.* Mathematical models of the main mining water-removal plants functioning and optimization // Mining magazine. 2002. N 4.

6. *Chernyahovsky R.L.* Adaptation of the electromecanical mining drainage complexes operating conditions to the energy system schedules under variable water influx conditions: the author summary of the master's thesis. Saint Petersburg, 2003.