

**В.В. Гусак**, студент, **В.И. Мизерный**, ст. преподаватель,  
Донецкий национальный технический университет

## **РЕГУЛИРОВАНИЕ ШАХТНОЙ ВОДООТЛИВНОЙ УСТАНОВКИ ВПУСКОМ ВОЗДУХА ВО ВСАСЫВАЮЩИЙ ТРУБОПРОВОД**

В результате проведенного обследования водоотливных установок выявлено, что насосные водоотливные установки имеют значительные резервы гидравлической мощности, в следствии чего, время суточной работы насосов главного водоотлива составляет 12ч, а вспомогательного – всего 7 ч.

Наличие таких неиспользованных резервов мощности оборудования на шахтном водоотливе снижает его технико - экономические показатели.

Наиболее неблагоприятными условиями характеризуется работа участков и вспомогательных водоотливных установок. Водоотливные вспомогательные установки, в большинстве случаев, имеют водосборники малой ёмкости, а установленные насосы – завышенную подачу, при этом организация работ по откачке суточного притока воды требует частых пусков и остановок насосных агрегатов.

Исследованиями установлено, что более 80% отказов в работе насосных установок приходится именно на пусковой период, поэтому организация непрерывной работы насосов, при которой исключаются частые пуски и поддерживаются стабильные установившиеся режимы работы, в значительной степени повышает надежность вспомогательного водоотлива.

Автоматизация водоотливных установок повышает безопасность и надежность работы водоотлива, высвобождает значительное количество людей, уменьшает расходы на капитальный и текущий ремонты оборудования и дает значительную экономическую эффективность. Однако, практика эксплуатации существующих схем и аппаратуры автоматизации показывает, что наличие в гидравлических схемах автоматизации водоотливных установок элементов для осуществления автоматической заливки насосов, программирующих устройств, обеспечивающих очередность автоматического их запуска в работу, а так же большое число других элементов обеспечивающих автоматическое управление, усложняет и ухудшает, а также удорожает аппаратуру автоматизации, снижая при этом ее надежность.

Непрерывная работа водоотливных установок, т.е. работа на приток в сравнении с прерывистой (с периодической) работой, имеет следующие преимущества:

- снижается установленная мощность насосных агрегатов;
- практически исключается необходимость наличия средств для автоматизированной заливки насосов перед пуском, т.к. заливка осуществляется один раз перед пуском, что приводит к упрощению и повышению надежности аппаратуры автоматизации, потому что ее функции сводятся лишь к осуществлению контроля за работой насосного агрегата;
- исключается необходимость в регулировочной ёмкости. Ёмкость водосборника вспомогательного водоотлива, согласно требованиям ПБ, принимается равной 2-х часовому нормальному притоку;
- при организации работы водоотлива на приток уменьшается скорость движения воды в трубопроводе, следовательно уменьшаются потери напора, а соответственно и расход электроэнергии на откачку воды;
- отпадает необходимость в специальных насосах оросительной и противопожарной систем, т.к. при непрерывной работе насосных агрегатов для этих целей вода может быть использована из напорного трубопровода водоотливной установки.

Все вышеизложенное позволяет сделать заключение, что работа на приток является одним из направлений повышения технико – экономических показателей шахтного водоотлива за счет уменьшения капитальных и эксплуатационных затрат.

Организация непрерывной круглосуточной работы шахтного водоотлива требует необходимости регулирования центробежных насосов, являющихся основными средствами откачки воды.

Известными основными способами регулирования центробежных насосов являются:

- изменение частоты вращения ротора электродвигателя;
- изменение сопротивления нагнетательного трубопровода, т.е. регулирование задвижкой;
- изменение напорной характеристики насоса, подачей воздуха во всасывающий трубопровод.

Регулирование центробежных насосов изменением частоты вращения ротора приводного электродвигателя (применение ступенчатого регулирования частоты вращения за счет использования двухскоростных двигателей, многоскоростных редукторов) является наи-

более универсальным и экономичным, но имеет ограниченную глубину регулирования в сторону снижения подач из-за возможной потери устойчивости рабочего режима насоса, т.к. минимальное снижение частоты вращения

$$n_{\min} = n \sqrt{\frac{H_{\Gamma}}{H_{o\min}}}, \quad (1)$$

где  $n$  и  $n_{\min}$  – частота вращения соответственно асинхронная для данного электродвигателя и минимально допустимая при регулировании;  $H_{\Gamma}$  – геометрическая высота;  $H_{o\min}$  – напор насоса при закрытой задвижке.

Так как, из условия обеспечения устойчивой работы насоса необходимо выполнение условия

$$\frac{H_{\Gamma}}{H_{o\min}} \leq 0,95 \quad (2)$$

то

$$n_{\min} = 0,98n \quad (3)$$

и соответственно

$$H_{o\min} = \frac{H_{\Gamma}}{0,95} \quad (4)$$

что определяет низкую глубину регулирования в сторону снижения подачи.

Регулирование изменением характеристики сети при неизменной напорной характеристике насоса достигается увеличением сопротивления сети «а», при котором увеличиваются потери напора  $aQ^2$ . Характеристика сети пойдет круче и пересечет характеристику насоса левее, в результате чего будет достигнута подача насоса, равная притоку при его уменьшении.

Перемещение рабочей точки влево по характеристике насоса связано с увеличением напора насоса, а соответственно с дополнительным увеличением расхода электроэнергии.

Указанные недостатки регулирования задвижкой создают дополнительные трудности при эксплуатации и увеличивают удельную энергию на подъем воды.

Регулирование впуском воздуха во всасывающий трубопровод является наиболее технологически простым и легко осуществимым способом, не требующим коренной перестройки работы шахтного

водоотлива и экономически целесообразным в сравнении с ранее рассмотренным способом.

При регулировании впуском воздуха во всасывающий трубопровод уменьшение подачи насоса происходит за счет уменьшения объема всасываемой воды, а уменьшение напора развиваемого насосом за счет уменьшения плотности водовоздушной смеси, откачиваемой насосом в сравнении с плотностью воды, при этом напорные характеристики насоса подобны характеристикам получаемым регулированием частотой вращения.

В настоящее время известны три основные возможные способы подвода воздуха во всасывающий трубопровод.

В первом способе воздух подводится ко всасу насоса посредством трубки с отверстиями на различных уровнях. При достижении (уменьшении) уровня воды в водосборнике от установившегося в случае уменьшения притока открываются последовательно отверстия на трубке (рис.1) в результате чего увеличивается количество подсосываемого воздуха и соответственно уменьшается подача насоса. Уменьшение подачи насоса будет происходить до тех пор, пока уменьшившийся приток  $Q'_{пр}$  не станет равным подаче насоса  $Q'_H$  (рис. 2). При увеличении притока  $Q''_{пр}$  уровень воды в водосборнике  $\nabla'$  будет повышаться и закрывать отверстия на трубке, количество воздуха подсосываемого в сас будет уменьшаться, подача насоса возрастет и этот процесс будет происходить так же до тех пор, пока увеличившийся приток не уравнивается с подачей насоса  $Q''_H = Q''_{пр}$ .

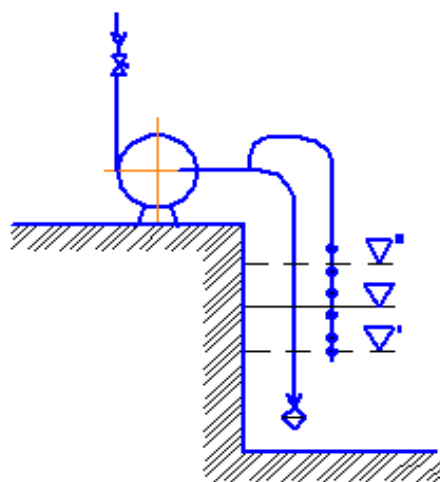


Рисунок 1 – Подвод воздуха посредством трубки с отверстиями

Недостатками этого варианта подвода воздуха является:

- ступенчатое регулирование, т.к. каждому ряду отверстий на трубке соответствует своя характеристика насоса;
- заиливание отверстий и зарастание из-за их малых размеров, агрессивности шахтной воды и наличия взвешенных твердых частиц в шахтной воде.

Во втором варианте (рис. 2) осуществляется верхний подвод воздуха во всас насоса из атмосферы через патрубок с регулируемым дросселем. При данном подводе воздуха во всасывающем трубопроводе в месте подсоединения патрубка имеется большое разрежение, зависящее от высоты всасывания. Поэтому незначительные изменения сопротивления дросселя в сторону уменьшения способны привести к резкому изменению (снижению) характеристики насоса из-за значительного увеличения количества подсосываемого воздуха вплоть до срыва подачи насоса. Данный вариант подвода воздуха возможен при обеспечении очень тонкого регулирования, при этом аппаратура автоматизации достаточно сложна и соответственно ненадежна.

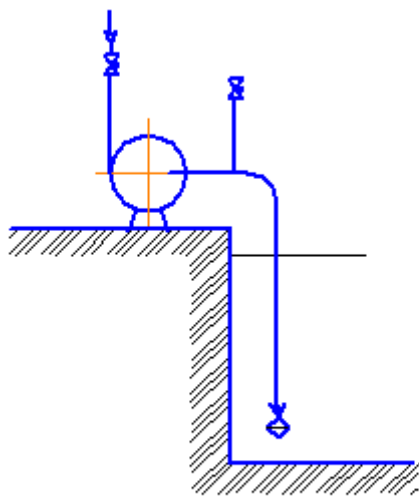


Рисунок 2 – Верхний подвод воздуха.

Третий вариант предусматривает подвод воздуха во всасывающий трубопровод ниже уровня воды в колодце, но выше приемного клапана точка  $N$  (рис. 3 ).

Принцип регулирования заключается в следующем:

Давление в точке подвода воздуха  $N(p_N)$  определяется гидростатическим давлением столба жидкости над точкой подвода и потерей давления во всасывающем трубопроводе на участке  $l_{\Pi}$

$$p_N - p_a = \rho gh - \rho ga Q^2, \quad (5)$$

где  $\rho$  - плотность воды;  $h$  - уровень воды над точкой подключения трубки;

$p_a$  - атмосферное давление;  $p_N$  - абсолютное давление в точке  $N$ ;

$a$  - сопротивление всасывающего трубопровода на участке  $l_{II}$ ;

$Q$  - подача насоса.

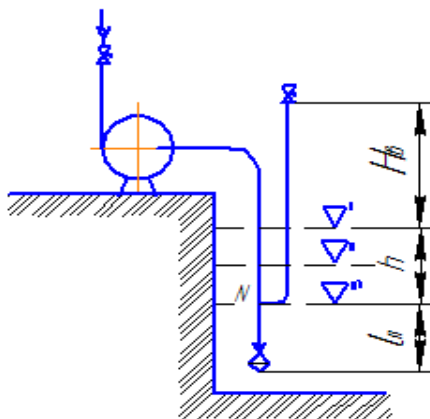


Рисунок 3 - Регулирование насосных установок нижним подводом воздуха.

Если при некотором уровне воды  $\nabla^I$  в водосборнике имеет место неравенство

$$\rho gh - \rho ga Q^2 > 0, \quad \text{то} \quad (6)$$

$$p_N - p_a > 0. \quad (7)$$

Это значит, что давление в точке подключения трубки больше атмосферного, соответственно подсоса воздуха нет, насос работает на естественной характеристике.

При уменьшении  $Q_{пр}$  понижается уровень воды в водосборнике, уменьшается  $h$ , а следовательно и гидростатическое давление столба  $\rho gh$ . В связи с тем, что насос еще продолжает работать на естественной характеристике потери давления не изменяются т.к.  $Q_{const}$ .

При некотором уровне  $\nabla^I$  наступает равенство

$$\rho gh = \rho ga Q^2, \quad (8)$$

в этом случае

$$p_N = p_a \quad (9)$$

Давление в точке N равно атмосферному. Трубка подвода воздуха полностью заполнена воздухом, но подсоса еще нет. Уровень  $\nabla^{\parallel}$  является минимальным для работы насоса на естественной характеристике.

При дальнейшем снижении уровня до  $\nabla^{\parallel}$  имеет место неравенство

$$\rho gh < \rho ga Q^2, \quad (10)$$

в этом случае

$$p_N < p_a, \quad (11)$$

и воздух поступает во всасывающую трубу.

Дальнейшее снижение  $Q_{\text{ПР}}$  и уровня воды в водосборнике приводит к росту вакуума в точке N, а следовательно к увеличению количества подсосываемого воздуха и автоматическому плавному бесступенчатому переходу работы насоса на еще более низкую характеристику насоса до выравнивания  $Q_{\text{ПР}}$  и  $Q_{\text{Н}}$ . Как только будет достигнуто равенство

$$Q_{\text{ПР}} = Q_{\text{Н}}, \quad (12)$$

то уровень воды в водосборнике стабилизируется.

В случае, если произойдет увеличение притока  $Q_{\text{ПР}}$ , наступит рассогласование

$$Q_{\text{ПР}} > Q_{\text{Н}}, \quad (13)$$

и процесс регулирования будет происходить в обратном порядке.

Преимуществами данного варианта подвода воздуха является:

- возможность плавного бесступенчатого автоматического регулирования количества подсосываемого воздуха, а соответственно и переход на новую искусственную характеристику насоса;

- простота регулирования и отсутствие всяких дополнительных устройств контроля и управления;

- отверстия подвода воздуха не засоряются и не заиливаются т.к. верхний конец трубки выведен в атмосферу, а в точке подключения трубки ко всасывающему трубопроводу сечение может быть достаточно большим;

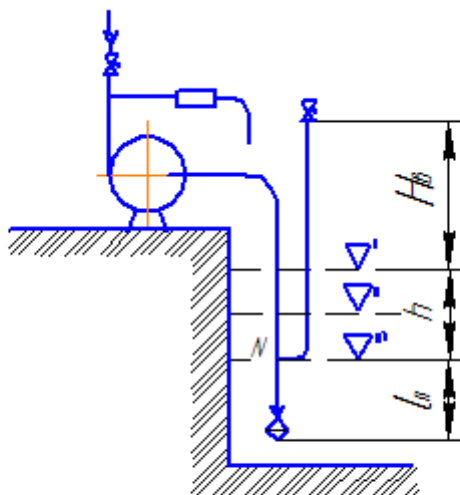
- подсос воздуха из атмосферы и ввод его во всасывающую трубу ниже уровня воды в водосборнике создает эффект лифтирования (эрлифта) при движении водовоздушной смеси во всасывающей тру-

бе насоса, что благоприятно сказывается на работе насоса, т.к. приводит к уменьшению геометрической высоты всасывания, а соответственно отдалению от кавитационного режима работы насоса.

На практике метод регулирования насосов подводом воздуха не нашел широкого применения с момента научного обоснования эффективности работы данной схемы, особенно связанной с экономией электроэнергии. На шахтах применяются более затратные схемы, но с точки зрения организаторов производства, более надежные, связанные с постоянным контролем за работой водоотлива.

Основным недостатком схемы, является тот факт, что относительный расход воздуха [2] не должен превышать 20%, так как при больших значениях наступает разрыв потока, что отрицательно сказывается на работе насосной установки.

При нехватке глубины регулирования по подаче в сторону снижения, применяется метод (рис.4) регулирования насосов нижним подводом воздуха и сбросом части воды в колодец.



*Рисунок 4 – Регулирование насосных установок нижним подводом воздуха и сбросом части воды в колодец.*

Все рассмотренные выше способы регулирования, дают возможность изменять режимы работы установок, как правило, в сторону снижения подачи.

Список источников.

1. Малеев В.Б., Малашкина В.А. Водоотлив и дегазация угольных шахт. - М.: "Недра", 1995. - 208 с.
2. Гейер В.Г., А.И. Махинин, Н.В. Блошенко Определение оптимальной глубины регулирования насосов при их работе на приток // Водоотлив глубоких шахт. - Донецк, 1972. - с. 61-67.
3. Гейер В.Г., Тимошенко Г.М. Шахтные вентиляторные и водоотливные установки: Учебник для вузов. - М.: Недра, 1987. - 270с.