

УДК 681.52

Устройство управления водоотливной установкой

Дубовик В.Г., Лебедев Л.Н., Мишурняев Д.О., Иванов И.П.

Одним из важных требований к водоотливной установке есть использование насосов в режимах, соответствующих их номинальным параметрам. Отклонение рабочих режимов насоса от номинальных значений влечет за собой снижение КПД и, как следствие, перерасход электроэнергии. Допускается некоторое отклонение рабочих параметров от значений, указанных в каталогах, но при этом они не должны выходить за пределы рабочей зоны насоса, в соответствии с его напорной характеристикой. Использование насоса за пределами рабочей зоны в значительной мере не только ухудшает его КПД, но может также вызывать переход насосов в недопустимый эксплуатационный режим работы. При уменьшении подачи может возникнуть явление помпажа, а при увеличении – явление кавитации, которое происходит при увеличении значения давления на входе насоса выше критического, за который принимается давление насыщенного пара перекачиваемой жидкости [1].

При помпаже появляются сильные пульсации потока, проходящего через насос, возникают вибрации лопаток и тряска, которые могут вызвать его разрушение. Если расход жидкости, отбираемой потребителем, меньше подачи, то при этом равновесие нарушается и система насос - сеть попадает в режим помпажа. Напор, развиваемый насосом, падает до значения напора холостого хода, насос уже не может удержать давящий на него столб жидкости и она начинает течь в обратном направлении, если на напорном трубопроводе насоса не установлен обратный клапан. Неустойчивый режим работы насоса в системе приводит к колебаниям подачи и напора и может сопровождаться гидравлическими ударами в сети. Явление помпажа сходно с явлением резонанса при колебаниях механических систем [2].

Для того, чтобы устранить кавитацию нужно использовать принцип – на входе в насос должно всегда быть жидкости больше, чем на выходе. Это можно достичь:

- заменой всасывающего патрубка на больший диаметр;
- перемещением насоса ближе к питающему резервуару, но не ближе 5-10 диаметров всасывающей трубы;
- понижением сопротивления во всасывающей трубе, заменой ее материала на менее шероховатый, заменой задвижки на шиберную, характеризующуюся меньшими местными потерями, удалением обратного клапана;
- уменьшением количества колен и заменой отводов на большие радиусы поворота, сориентировав их в одной плоскости;
- увеличением давления во всасывающем трубопроводе путем повышением уровня в питающем резервуаре либо снижением оси установки насоса, а также использованием бустерного насоса [3].

На рис. 1 представлена структурная схема устройства управления водоотливной установкой. Устройство управления водоотливной установкой, рис.1, состоит из датчика уровня 1, к выходу которого подключены три пороговых элемента 2, 3, 4, вторые входы которых соединены с источниками E_1 , E_2 , E_3 постоянного входного действия, а выходы первого 2 и второго 3 пороговых элементов соединены, соответственно, с первым 5 и вторым 6 элементами И-НЕ, а также, соответственно, из R входом первого R-S триггера 7 и R входом второго R-S триггера 8, а S вход первого R-S триггера 7 через первый элемент И-НЕ 5 соединен с выходом второго порогового элемента 3, а S вход второго R-S триггера 8 через второй элемент И-НЕ 6 соединен с выходом третьего порогового элемента 4, выход первого R-S триггера 7 соединен с входом ключа 9 электронного, второй вход которого соединен со вторыми входами ключей 10 и 11 электронных и источником E4 питания цепей магнитных

пускателей 12, 13, 14, которые подключены входами, соответственно, к выходам ключей 10, 11 и 12 электронных, выходы датчиков 15 и 16 производительности соединены,

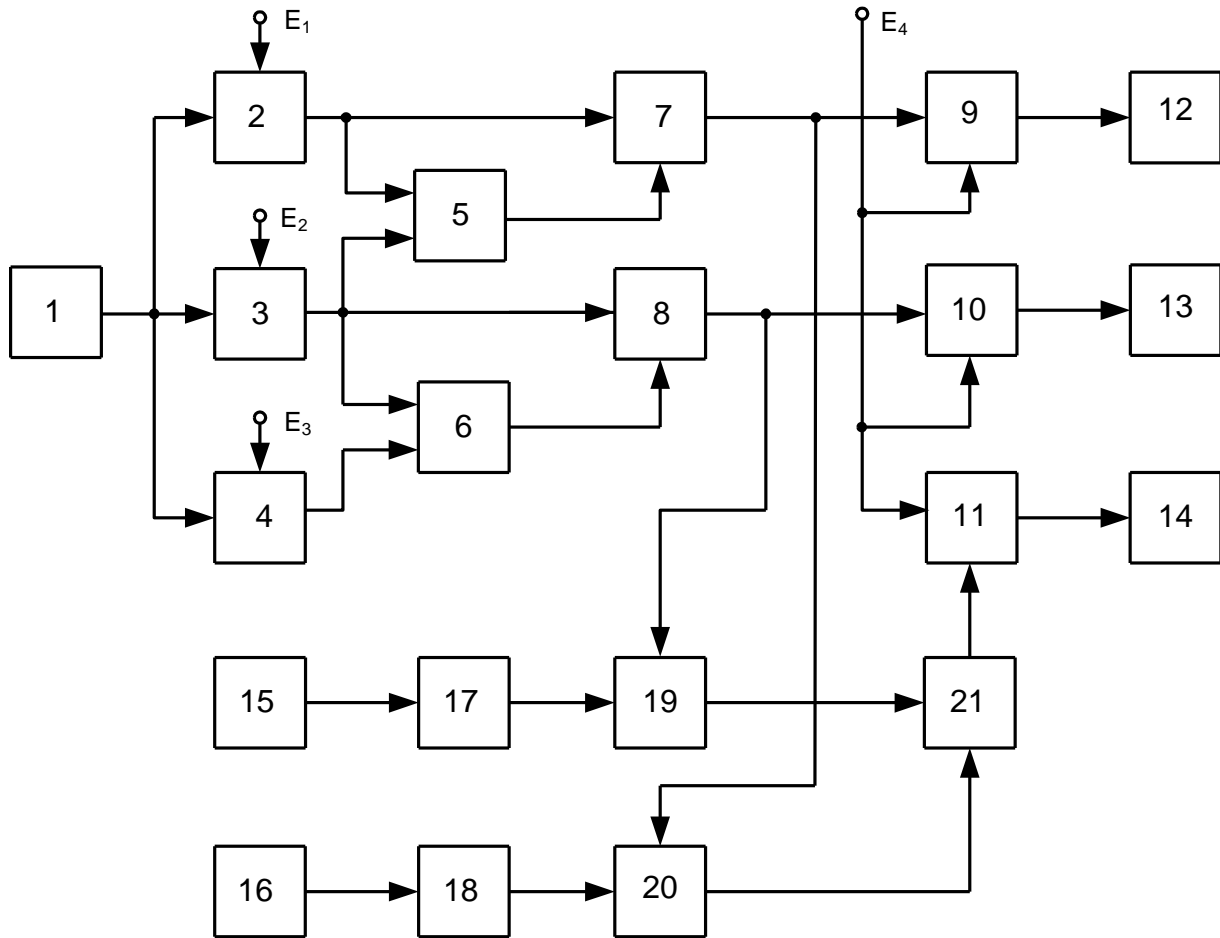


Рис. 1. Структурная схема устройства управления водоотливной установкой соответственно, через третий 17, четвертый 18 элементы И-НЕ со входами первого 19, второго 20 элементов И, второй вход первого элемента И 19 соединен с выходом первого R-S триггера 7, второй вход второго элемента И 20 соединен с выходом второго R-S триггера 8, выходы первого 19 и второго 20 элементов И соединены со входами элемента ИЛИ 21, выход которого соединен со входом третьего ключа 11 электронного. Через магнитные пускатели 12, 13, 14 подается напряжение питания на электродвигатели насосов верхнего уровня, аварийного уровня и резервного, которые на рис. 1 не показаны [4].

Датчик 1 уровня обеспечивает формирование сигнала, пропорционального уровню воды в водосборнике и может представлять собой разные по принципу работы датчики уровня, например, ультразвуковые, магнитострикционные, микроволновые или емкостные для непрерывного измерения значения уровня. Они используются в зависимости от условий размещения водосборника, а также материала стенок и глубины откачивания воды. Ультразвуковые датчики уровня – бесконтактные и используют ультразвуковые импульсы, которые посылаются передатчиком в направлении поверхности воды. При этом измеряется время t прохождения сигнала от передатчика к поверхности и обратно. Расстояние S до зеркала воды определяется из соотношения $S = V \cdot t/2$, где V – скорость распространения звука. Бесконтактный метод делает их нечувствительными к изменению свойств воды - давления, плотности, вязкости в диапазоне измерения до 50 м с точностью до 2 мм.

Магнитострикционный датчик состоит из волновода, расположенного внутри стержня, и внешнего постоянного магнита внутри поплавка. Датчик подает сигнал, который создает магнитное поле, распространяемое вдоль волновода. С другой стороны, постоянный магнит внутри поплавка создает дополнительное магнитное поле и при пересечении этих двух магнитных полей возникает, так называемая, торсионная волна, которая распространяется вдоль волновода со скоростью звука. Она улавливается чувствительным элементом датчика, далее вычисляется расстояние с точностью до 0,01%. Известен магнитострикционный датчик, например, серии EG фирмы Fine Tek. Микроволновые датчики уровня используют высокочастотные импульсы, которые направляются по зонду в виде троса или стержня. Достигнув поверхности воды, микроволновые импульсы отражаются от нее. Полученные эхосигналы с учетом времени прохождения импульса преобразуются в сигналы, пропорциональные значению уровня воды. На результаты измерения не влияют значительные нарастания отложений на зонде уровнемера или стенке емкости, известны такие датчики, например, типа KSR-GT. Емкостные датчики используются для искусственных водосборников с металлическими стенками на принципе измерения емкости, образованной металлическими стенками и чувствительным элементом датчика. К чувствительному элементу подается высокочастотный синусоидальный сигнал. Изменение уровня воды контролируется путем измерения силы тока подаваемого сигнала при длине чувствительного элемента датчика до 50 метров, известны такие датчики типа РОС-101, РОС-101И, а также серии EB фирмы Fine Tek.

Пороговые элементы 2, 3, 4 обеспечивают сравнение входных сигналов по амплитуде и формирование выходного высокого логического уровня при условии превышения значения входных сигналов, соответствующих уровней, E_1 , E_2 , E_3 и могут быть выполнены с использованием операционных усилителей в виде интегральных микросхем.

R-S триггеры 7 и 8 обеспечивают формирование выходных сигнала в зависимости от состояния управляющих входов R и S, которые выполняют функции установки выходных сигналов в уровень логического нуля при $R=0$ или единицы при $S=0$. При $S=R=1$ триггеры находятся в режиме хранения, а $S=R=0$ - запрещенная комбинация, поскольку приводит к неопределенности выходного состояния. Они представляют собой асинхронные RS-триггеры и могут быть выполнены на элементах И-НЕ, ИЛИ-НЕ с использованием интегральных микросхем.

Ключи 9, 10 и 11 электронные обеспечивают замыкания входных цепей с выходными, при этом выполняется подача напряжения от источника E_4 на входы пускателей 12, 13 и 14 магнитных при подаче логического высокого уровня на их первые входы и могут быть выполнены на полупроводниковых элементах с гальванической развязкой.

Датчики 15 и 16 производительности обеспечивают формирование сигналов, пропорциональных давлению воды в напорных трубопроводах и представляют собой аналоговые датчики давления, которые обеспечивают контроль производительности насосов. Значение выходного сигнала пропорционально значению производительности для каждого насоса, а коэффициент передачи устанавливается при наладке, элементы для установки не приведены. Датчики производительности также применяются при опасности прекращения подачи воды. Как только давление падает ниже значений от 0,04 до 0,4 бар, контакты специального реле размыкаются, и питание на насос не подается, что позволяет избежать явления помпажа. После такого срабатывания контакты реле можно замкнуть только вручную. Датчик 15 производительности установлен на трубопроводе насоса верхнего уровня, электродвигатель которого подключается магнитным пускателем 12, а датчик 16 производительности установлен на трубопроводе насоса аварийного уровня, электродвигатель которого подключается магнитным пускателем 13. Через магнитный пускатель 14 обеспечивается подача питания на электродвигатель резервного насоса. Элементы для

контроля режима холостого хода, блок питания и элементы его подключения на рис. 1 не приведены.

Приняты обозначения U_n^i - амплитуда сигнала на i -том выходе n -го блока. Работает устройство следующим образом. В начальном состоянии при отсутствии притока воды выходные сигналы пороговых элементов 2, 3, 4 равняются нулю, так как имеют характеристики

$$U_2 = \begin{cases} 1 \text{ при } U_1 > E_1 \\ 0 \text{ при } U_1 < E_1, \\ 1 \text{ при } U_1 > E_2 \end{cases}$$

$$U_3 = \begin{cases} 0 \text{ при } U_1 < E_2, \\ 1 \text{ при } U_1 > E_3 \end{cases}$$

$$U_4 = \begin{cases} 0 \text{ при } U_1 < E_3. \end{cases}$$

При этом нулевой логический уровень на R входе R-S триггера 7 устанавливает его выходной уровень также в нуль, который обеспечивает разомкнутое состояние электронных ключей 9, 11 и магнитных пускателей 12, 14. Насосы при этом не работают. Электронные ключи 9, 10, 11 имеют характеристики

$$U_9 = \begin{cases} 0 \text{ при } U_7 = 0 \\ E_4 \text{ при } U_7 = 1, \end{cases}$$

$$U_{10} = \begin{cases} 0 \text{ при } U_8 = 0 \\ E_4 \text{ при } U_8 = 1, \end{cases}$$

$$U_{11} = \begin{cases} 0 \text{ при } U_{21} = 0 \\ E_4 \text{ при } U_{21} = 1. \end{cases}$$

При повышении уровня воды до нижнего уровня на выходе порогового элемента 2 появляется уровень логической единицы, состояние R-S триггера не 7 изменяется, $U_7 = 0$, он находится в режиме памяти установленного ранее состояния, а на первом входе элемента И-НЕ 5 устанавливается уровень логической единицы. При повышении уровня воды до верхнего уровня на выходе порогового элемента 3 появляется уровень логической единицы, переключается R-S триггер 7, так как, из выхода элемента И-НЕ 5 подается нулевой логический уровень на S вход R-S триггера 7 и уровень логической единицы подается на ключ 9 электронный, который переключается и подает питание от источника E4 на магнитный пускатель 12 и это обеспечивает питание электродвигателя насоса верхнего уровня, на рис. 1 не приведен. Насос верхнего уровня обеспечивает рабочую производительность и на выходе датчика 15 производительности появляется сигнал логической единицы, который подается на элемент И-НЕ 17, с выхода которого появляется сигнал логического нуля и дальше он подается на вход элемента И 19, что обеспечивает блокирование на прохождение сигнала от R-S триггер 7 через элемент ИЛИ 18 на электронный ключ 11. Уровень воды в водосборнике снижается, сначала сигнал на выходе порогового элемента 3 переключается в нуль, что не вызывает изменений в работе включенного насоса. Далее и на выходе порогового элемента 2 сигнал переключается в нуль, что приводит к переключению R-S триггер 7, выходной

логический нуль которого подается на ключ 9 электронный, который размыкается, отключается питание магнитного пускателя 12 и электродвигатель насоса верхнего уровня останавливается.

Рассмотрим ситуацию, когда один насос не может обеспечить откачивание притока воды, а уровень воды достигает аварийного значения и на выходе порогового элемента 4 появляется сигнал логической единицы. При этом на выходе пороговых элементов 2 и 3 присутствуют также сигналы логической единицы, а с выхода элемента И-НЕ 6 подается сигнал логического нуля на S вход R-S триггера 8, который переключается и уровень логической единицы подается на ключ 10 электронный, который переключается и подается питание от источника E_4 на магнитный пускатель 13, который обеспечивает питание электродвигателя насоса аварийного уровня, на рис. 1 не приведен. Насос при работе обеспечивает рабочую производительность и на выходе датчика 16 производительности появляется сигнал логической единицы, который подается на элемент И-НЕ 18, на выходе появляется сигнал логического нуля и дальше он подается на вход элемента И 20, что обеспечивает блокирование на прохождение сигнала от R-S триггера 8 на электронный ключ 11. Уровень воды в водосборнике снижается. Сначала сигнал на выходе порогового элемента 4 переключается в нуль, что не вызывает изменений в работе включенного насоса, а далее при снижении уровня воды сигнал на выходе порогового элемента 3 переключается в нуль, что приводит к переключению R-S триггера 8, выходной логический нуль которого подается на ключ 10 электронный, который размыкается, отключается питание магнитного пускателя 13 и электродвигателя насоса аварийного уровня. Продолжение работы устройства, аналогично рассмотренному выше. Рассмотрим ситуацию, когда один из основных насосов уменьшает производительность работы при включенных насосах верхнего и аварийного уровней. При этом магнитные пускатели 12 и 13 включены. Например, при уменьшении производительности работы насоса верхнего уровня, на выходе датчика 15 производительности сигнал переключается в уровень логического нуля и на выходе элемента И-НЕ 17 устанавливается уровень логической единицы, который подается через элемент И 19, а также через элемент ИЛИ 21 на вход ключа 11 электронного, который переключается и подается питание от источника E_4 на магнитный пускатель 14, что обеспечивает питание электродвигателя резервного насоса, на рис. 1 не приведен. Уровень воды в водосборнике снижается. Далее устройство работает аналогично, рассмотренному выше.

Устройство обеспечивает управление во всем диапазоне нагрузок насосной установки с возможностью отключения электродвигателя отдельного насоса при переходе его в режим холостого хода, что обеспечивает снижение расхода электроэнергии и повышает его надежность. Решающее влияние на режим работы насоса определяют гидравлические параметры системы. Совместная работа насосной установки и сети трубопроводов возможна, если подача насоса равна расходу в сети, а давление, которое развивается насосами, равно потерям давления в системе и статической высоте подъема жидкости. При содержании более 5% воздуха в воде, применение обычных центробежных насосов недопустимо [5].

Применение введенных двух датчиков производительности, четырех элементов И-НЕ, двух элементов И, элемента ИЛИ, двух R-S триггеров, трех пороговых элементов в состав устройства позволяет поддерживать уровень воды в водосборнике в заданном диапазоне, своевременно включать в работу резервный насос при выходе из строя одного из основных, контролировать производительность насосов в установленном диапазоне, что позволяет не допустить негативных явлений помпажа и кавитации, что в общем, повышает надежность насосной установки.

Устройство обеспечивает дистанционный метод измерения уровня воды в водосборнике во всем диапазоне его глубины с получением аналогового сигнала,

пропорционального значению уровня воды, что позволяет просто адаптировать устройство при возможных изменениях в технологии его работы.

При работе устройства используются источники постоянного входного воздействия, которые позволяют просто делать его настройку на конкретные уровни воды в водосборнике: E_1 – нижнего уровня, E_2 – верхнего уровня и E_3 – аварийного уровня по условиям использования насосной установки.

Экономическая эффективность при автоматизации водоотливных установок достигается за счет сокращения обслуживающего персонала, уменьшения расхода электроэнергии путем исключения работы насосов вхолостую, сокращения времени их запуска, общего количества пусков и сокращения аварийных ситуаций. Затраты на автоматизацию водоотливной установки окупаются за один - два года [6].

Водоотливные установки должны обеспечивать надежную откачку воды из горных выработок при возможно меньших эксплуатационных расходах.

Использованные источники:

1. Патент Российской Федерации № 2255246. Солдатов А.И., Цехановский С.А., Сорокин П.В., Бычков В.В., Ким О.Х. Устройство управления электронасосами артезианских скважин. МПК F04D 15/00. Заявлено 14.10.2003; Опубл. 27.06.2005, Бюл. №18.
2. Авторское свидетельство СССР №1793102. Скударнов Ю.А. Устройство управления насосной установкой для понижения уровня грунтовых вод. МПК F04D 15/00. 07.02.93. Бюл. № 5.
3. Карелин В.Я. Кавитационные явления в центробежных и осевых насосах - М.: Недра, 1975 – 353 с.
4. Патент України на корисну модель №66712 від 10.01.2012 р. Дубовик В.Г., Лебедев Л.М., Мішурняев Д.О. Пристрій керування насосною установкою. МПК F04D 15/00. Бюлетень "Промислова власність", №1, 2012 р.
5. Попов В.М. Рудничные водоотливные установки. – 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Недра, 1983. – 304 с.
6. Шевчук С.П. Повышение эффективности водоотливных установок. Учебное пособие. - Киев, УМК ВО, 1990, 104 с.