

*В.И. БЕССАРАБ*, к.т.н., доцент, *Р.В. ФЕДЮН*, к.т.н., доцент,  
*В.В. ТУРУПАЛОВ*, к.т.н., доцент

## ПРОБЛЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ВОДООТЛИВА ГЛУБОКИХ ШАХТ С ПОВЫШЕННОЙ ВОДООБИЛЬНОСТЬЮ

В статье рассмотрены ряд проблем, которые возникают при автоматизации головных водоводливных установок глубоких шахт. Выполнен анализ различных технологических схем головного водоводлива с точки зрения их автоматизации. Сформулированы требования к системам автоматического управления водоводливными установками глубоких шахт с повышенной водообильностью.

В последние десятилетия в угольной промышленности Украины, России и ряда других стран СНГ получила интенсивное развитие тенденция освоения все более глубоких горизонтов шахт, сопровождающаяся одновременным укрупнением их производственных мощностей. Это привело к существенному усложнению всех подземных технологических комплексов, в том числе и шахтных водоотливных установок, характеризующихся соответствующим ростом высоты водоподъема (до 1200 – 1500 м), притоков шахтных вод (вплоть до 1000 м<sup>3</sup>/ч), мощности и числа совместно работающих насосных агрегатов, при одновременном значительном ухудшении работы всасывающих линий последних. Отмеченное обусловило возникновение весьма сложной комплексной проблемы водоотлива глубоких шахт.

Нерешенность рассматриваемого комплекса задач приводит к заметному перерасходу электроэнергии и широкому использованию ручного труда на водоотливе, а также является одной из основных причин того, что средний срок службы насосов не превышает 10...12 мес., со снижением его до 1...2 тыс. ч. в наиболее тяжелых условиях их эксплуатации. По этой же причине на водоотливе нередко возникают весьма сложные аварийные ситуации.

Изложенное выше подтверждает актуальность рассматриваемой проблемы, одновременно направленной на повышение безопасности, надежности, экономичности шахтных водоотливных установок.

Анализ модельного ряда используемых в угольной промышленности центробежных насосов, а также условий и технико-экономических показателей работы существующих водоотливных установок показал нецелесообразность использования водоотливных установок с высотой ступени более 600 м. Это связано с тем, что надежность высоконапорных насосов низка, что приводит к значительному сокращению их срока службы, а также к частым поломкам технологического оборудования. Кроме того, при большой глубине шахты и одной ступени необходимо использовать нагнетательные трубопроводы, выдерживающие значительные статические и динамические давления.

Результаты исследований высоконапорных насосов ЦНС 180 – 500...900 и ЦНС 300 – 650...1040 показали их весьма низкую надежность и долговечность [1]. Показатели надежности этих насосов отражены в таблице 1. Анализ приведенных данных (табл. 1.) показывает, что эксплуатация высоконапорных насосов без их совершенствования не целесообразна. Низкие показатели надежности приводят к повышению эксплуатационных затрат на процесс водоотлива, а также снижают безопасность горных работ. Анализ исследований о целесообразной высоте ступени прямого водоотлива показал, что при высоте ступени более 600 м значительно увеличиваются эксплуатационные затраты на содержание водоотлива.

Таблица 1.

Показатели надежности высоконапорных насосов.

Тип насоса	Вид показателя	Показатель надежности		
		Среднее время безотказной работы, ч	Средняя наработка на отказ, ч	Средний ресурс до капремонта, ч
ЦНС 180 – 500...900	расчетный	-	3000	10000
	реальный	653	675	843
ЦНС 300 – 650...1040	расчетный	-	3000	10000
	реальный	396	371	672

Водоотлив глубоких шахт может быть реализован по различным технологическим схемам [2]: прямой водоотлив с горизонта непосредственно на поверхность; ступенчатый водоотлив с промежуточным водосборником; ступенчатый водоотлив с последовательно соединенными насосами, расположенными на различных горизонтах - "насос в насос". Каждая из технологических схем ступенчатого водоотлива имеет свои особенности, достоинства и недостатки.

Широко применяется схема ступенчатого водоотлива с водосборником на промежуточном горизонте [2]. В этом случае имеет место гидравлически развязанная схема водоотлива. Насосные установки различных горизонтов гидравлически жестко не связаны. Моменты их включений и отключений определяются уровнем воды в соответствующем водосборнике. Водоотливная установка каждого горизонта может рассматриваться как обычная одноступенчатая водоотливная установка со всеми присущими ей достоинствами и недостатками. Такая схема водоотлива имеет ряд отрицательных сторон. Во-первых, это наличие промежуточного водосборника, на строительство и содержание которого необходимы существенные капитальные вложения и эксплуатационные затраты. Во-вторых, необходимо согласовывать подачи насосов различных горизонтов. Для этого необходимо регулировать насосы, что в эксплуатации вызывает ряд затруднений. В-третьих, отсутствие жесткой

связи между насосами разных горизонтов приводит к сдвигу во времени между рабочими циклами насосов различных горизонтов. Это не позволяет применять существующую систему внепикового потребления электроэнергии водоотливом, что имеет немаловажное значение в настоящее время.

Более экономичной и перспективной является схема ступенчатого водоотлива "насос в насос" [2]. При применении этой схемы отпадает необходимость в сооружении и поддержании промежуточных водосборников, не требуется регулирование насосов по производительности в стационарном режиме работы. Проведенные расчеты [3] показали, что капитальные и эксплуатационные затраты на схему "насос в насос" меньше, чем затраты на схему с промежуточным водосборником. Наличие давления (подпора) во всасывающих трубопроводах насосов промежуточных горизонтов устраняет подсосы воздуха и кавитационные режимы работы, что позволяет увеличить к.п.д. и продлить срок службы насосного оборудования. С точки зрения внепикового потребления электроэнергии водоотливом схема "насос в насос" не вызывает ни каких проблем, так как насосы всех горизонтов работают одновременно. Поэтому для этой технологической схемы водоотлива подходят все существующие разработки по внепиковому потреблению электроэнергии водоотливом. Отрицательной стороной этой технологической схемы водоотлива является жесткая связь между насосами разных горизонтов. В связи с этим изменение режима работы насосов одного горизонта оказывает влияние на работу насосов другого горизонта. Это влияние проявляется как в стационарном режиме работы, так и в различных переходных и нестационарных режимах.

Сравнение выше приведенных технологических схем ступенчатого водоотлива с позиции изменения параметров откачки в процессе эксплуатации показывает преимущество установок с последовательно включенными насосами перед установками с промежуточным водосборником [3]. При изменении напорных характеристик насоса или трубопровода одного из горизонтов изменение подачи ступенчатого водоотлива с последовательно включенными насосами будет меньше, чем для ступенчатого водоотлива с перекачными водосборниками. Более рационально использование насосов при последовательном их включении, так как при этом сокращается время работы водоотлива в сутки и уменьшаются затраты на обслуживание и ремонт водоотливного оборудования.

Анализ технологических схем водоотлива глубоких шахт показывает, что наиболее перспективной является схема "насос в насос". Особый интерес представляют переходные режимы в схеме "насос в насос", так как они недостаточно исследованы. Неконтролируемое течение переходных процессов приводит к интенсивному износу технологического оборудования, поломкам и выходу его из строя, малому сроку службы и не высокой надежности [1,2]. Поэтому необходимо исследовать динамические процессы в многоступенчатых водоотливных установках. Для разработки эффективной системы автоматического управления многоступенчатым водоотливом угольных шахт.

Режим работы многоступенчатой водоотливной установки определяется рабочими режимами отдельных её ступеней. На режим работы каждой ступени оказывают влияние ряд параметров, которые определяют текущее состояние ступени [2,4]. Состояние  $i$ -й ступени описывается следующим вектором:

$$\bar{X}_i = |Q_i, H_i, H_{IIi}, H_{Гi}, N_i, \eta_i, \rho, Q_{II}, d_i, L_i, \alpha_i, Q_{opi}| \quad (1)$$

где  $Q_i$  - производительность  $i$ -й ступени водоотлива;  $H_i$  - напор  $i$ -й ступени водоотлива;  $H_{IIi}$  - напор на входе в насосную станцию (подпор);  $H_{Гi}$  - геологическая высота нагнетания  $i$ -й ступени;  $N_i$  - мощность  $i$ -й ступени водоотлива;  $\eta_i$  - коэффициент полезного действия  $i$ -й ступени водоотлива;  $Q_{II}$  - часовой приток шахты;  $\rho$  - плотность жидкости;  $d_i$  - диаметр трубопровода  $i$ -й ступени;  $L_i$  - длина трубопровода  $i$ -й ступени;  $\alpha_i$  - гидравлическое сопротивление трубопровода  $i$ -й ступени;  $Q_{opi}$  - расход воды на орошение производственных участков  $i$ -го горизонта.

Анализ влияния этих параметров на режим работы ступени водоотлива показывает его неоднозначность. Каждый параметр определенным образом влияет на рабочий режим водоотлива, однако, можно выделить три группы параметров: условно-постоянные  $V$ , возмущающие  $W$ , управляемые  $U$ . Условно-постоянные параметры или остаются неизменными, или незначительно и медленно изменяются в процессе эксплуатации

$$\bar{V}_i = |d_i, L_i, N_i, \eta_i, H_{Гi}|$$

Вектор  $\bar{V}$  условно-постоянных параметров является технической характеристикой водоотливной установки. Элементы данного вектора определяют собственные динамические свойства объекта управления.

Управляемые параметры - это такие переменные, воздействие на которые позволяет получать требуемые режимы работы объекта управления. Для одной ступени многоступенчатой водоотливной установки вектор управляемых величин имеет такой вид:

$$\bar{U}_i = |Q_i, H_i, H_{III}|$$

Водоотливные установки угольных шахт в большинстве случаев оснащаются центробежными секционными насосами [2]. В этом случае управляемые параметры  $Q_i$ ,  $H_i$ ,  $H_{III}$  взаимосвязаны. Это приводит к тому, что при воздействии на один из управляемых параметров будут изменяться и другие управляемые параметры. Поэтому необходимо учитывать эту особенность при разработке принципов управления многоступенчатым водоотливом.

Вектор возмущающих параметров имеет следующий вид:

$$\bar{W}_i = |Q_{II}, \rho, \alpha_i, Q_{opi}, H_i|$$

В многоступенчатой водоотливной установке существуют следующие возмущающие воздействия:

- изменение напорной характеристики насосов в процессе эксплуатации;
- изменение напорной характеристики трубопроводов в процессе эксплуатации (изменение  $\alpha_i$ );
- изменение плотности жидкости  $\rho$ ;
- часовой приток шахты  $Q_{\text{П}}$ ;
- расход воды на орошение  $Q_{\text{ор}}$ ;

Выполненный анализ работы трёхступенчатой водоотливной установки по схеме "насос в насос" показывает жесткую гидравлическую связь между отдельными ступенями в стационарном режиме работы. Эта жесткая связь имеет место и в переходных неустановившихся режимах работы. Это обстоятельство необходимо учитывать при исследовании динамики многоступенчатой водоотливной установки.

Любая технологическая схема многоступенчатого водоподъема может быть представлена в виде обобщенной модели следующего вида – рис.1.

Ступень многоступенчатой водоотливной установки состоит из генератора гидравлической энергии – центробежного насоса ЦН и его нагрузки трубопровода ТР. Для изменения рабочего режима водоотлива и установления требуемых параметров перекачки (напор, подача) на элементы водоотливной установки подают управляющие воздействия  $U_y$ . Как известно [2], режим перекачки определяется, в основном, двумя взаимосвязанными координатами: напор  $H$  и подача  $Q$ . В динамических режимах работы водоотлива большое значение приобретает характер изменения и величины давлений (напоров) в различных точках трассы перекачки. Это связано с тем, что повышение давления, скачки и пульсации давления, а также гидравлические удары приводят к повышенному износу и выходу из строя технологического оборудования. Учитывая эту особенность, за управляемые (выходные) координаты многоступенчатой водоотливной установки принимаются напор на входе и выходе трубопровода ступени:  $H_1, H_3, H_5$  – напор на входе трубопровода,  $H_2, H_4, H_6$  – напор на выходе трубопровода ступени (подпор на входе следующей ступени). Входные координаты – подача насоса ступени  $Q_1, Q_2, Q_3$ , каждая из которых изменяется под воздействием управляющего воздействия  $U_{y1}, U_{y2}, U_{y3}$ .

Попытки решить задачу автоматического управления многоступенчатым водоотливом угольных шахт за счет совершенствования систем управления насосным оборудованием различных горизонтов без их взаимосвязи и взаимовлияния не позволяют получить требуемое качество и надежность управления многоступенчатыми водоотливными установками.

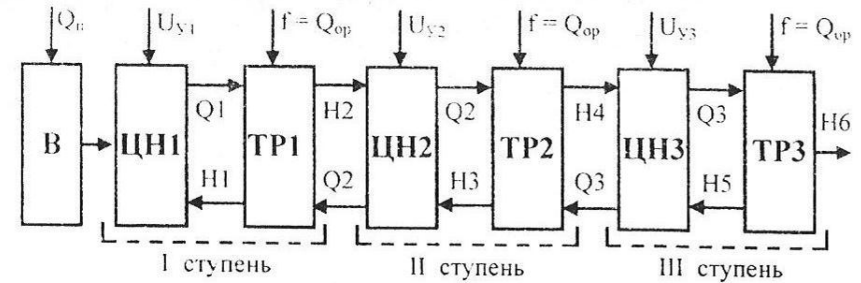


Рисунок 1. Обобщенная структура трехступенчатой водоотливной установки.

Современные системы автоматического управления насосными установками не позволяют получить требуемое качество и надежность управления многоступенчатыми водоотливными установками. В силу специфики многоступенчатого водоотлива имеющиеся методы построения систем не рассматривают объект управления – многоступенчатую водоотливную установку как взаимосвязанную структуру по технологии и режиму работы. Поэтому используемые принципы построения систем управления не учитывают факт взаимного влияния ступеней различных горизонтов.

Современное состояние технических средств автоматического управления позволяет получать информацию о технологических параметрах всей многоступенчатой водоотливной установки в едином пункте управления. Это позволяет рассматривать многоступенчатый водоотлив как многосвязный, многомерный объект, алгоритм управления которым может быть синтезирован с использованием современных методов теории управления многосвязными объектами. При таком подходе наиболее полно учитываются все существенные связи в объекте, что позволяет значительно повысить качественные показатели разрабатываемой системы.

Таким образом, для нормальной безопасной работы многоступенчатого водоотлива требуется разработка системы автоматического управления, которая обеспечит быстрое установление стационарного режима, и компенсировала действие различных технологических возмущений.

**Список литературы:** 1. Адам О.В., Кошкальда Л.И. Надежность насосов для водоотлива глубоких шахт // Сборник научных трудов. Проблемные задачи совершенствования стационарных шахтных установок Донецк, 1988. – С. 84 – 88. 2. Гейер В.Г., Тимошенко Г.М. Шахтные вентиляторы и водоотливные установки. М.: Недра, 1987. 3. Емелина И.П., Богомолов Н.А., Кошкальда Л.И. Сравнение вариантов водоотлива глубокой обводненной шахты // В сб. "Исследование, разработка и эксплуатация шахтных стационарных установок", ВНИИГМ им. М.М. Федорова, Донецк, 1981. – С. 136 – 141. 4. Попов В.М. Рудничные водоотливные установки. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1983. – 304 с.

Поступила в редакцию 30.05.05