

УДК 622.532 - 52

ШАХТНЫЙ ВОДООТЛИВ БУДУЩЕГО – ВОДООТЛИВНЫЙ КОМПЛЕКС, С ПРИМЕНЕНИЕМ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА И АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

Д.В.Тарасенко, студент, А.С. Оголобченко, канд. техн. наук, доц.,

Донецкий национальный технический университет

Предложена трехуровневая структура системы мониторинга и автоматического управления водоотливным комплексом с применением промышленных сетей

Существуют различные схемные решения шахтного водоотлива, но практически на всех действующих шахтах водоотливный комплекс построен по многоступенчатой схеме, по которой насосные установки перекачивают рудничную воду с водосборника одной насосной станции в водосборник другой насосной станции и далее на поверхность шахты. Это сложный гидравлический комплекс, содержащий мощные, энергоемкие насосные установки и водосборники ограниченной емкости. Исследования показали, что не удастся добиться эффективности работы водоотливного комплекса только путем разработки и применения новых насосных установок. Необходимо осуществлять постоянный контроль рабочих параметров насосных установок, прогнозирование их состояния и обеспечить управление водоотливным комплексом как в пусковом, так и стационарном режимах. Поэтому шахтный водоотлив будущего это водоотливный комплекс, с применением системы мониторинга и автоматического управления.

Согласно [1], система мониторинга и автоматического управления водоотливным комплексом (далее система СМУБК) может быть представлена как декомпозиция взаимосвязанных подсистем, каждая из которых обеспечивает выполнение определенных функций, необходимых для контроля и управления технологическим объектом (см.рисунок 1). Так, подсистема ПВсОУ – подсистема взаимодействия с объектом управления, обеспечивает получение контрольной информации от объекта мониторинга и автоматического управления (ОМУ), а также выполняет управляющее воздействие на объект ОМУ в соответствии поступающими командами.

Аппаратной основой подсистемы ПВсОУ являются первичные измерительные преобразователи (датчики) и исполнительные устройства.

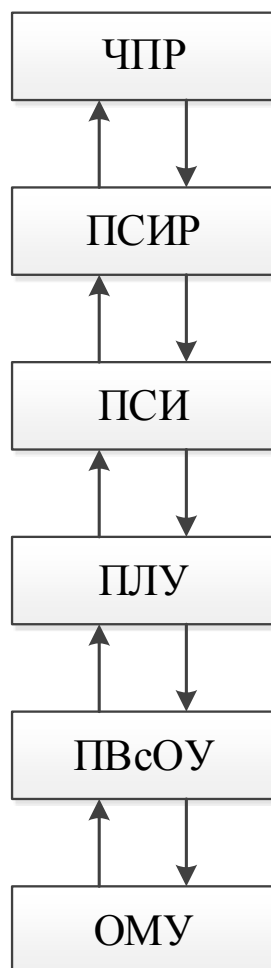


Рисунок 1 – Обобщенная функциональная схема системы мониторинга и автоматического управления водоотливным комплексом

Подсистемам ПЛУ – подсистема логического управления реализует в автоматическом режиме алгоритм управления, в результате которого обеспечивается достижение цели управления объектом ОМУ или его технологическим параметром. На современном этапе развития электронных технических средств, подсистема ПЛУ реализуется с помощью программируемых логических контроллеров (PLK).

Подсистема ПСИ – подсистема системной интеграции реализует процессы передачи информации (данных, команд, сигналов и т.д.) между другими подсистемами и организует связь с вышестоя-

щими или одноранговыми системами. Современные телекоммуникационные технологии основаны на использовании промышленной сети.

Подсистема ПСИР – подсистема сбора, отображения информации и принятия решения является SCADA – системой, которая представляет данные о ходе технологического процесса водоотлива человеку (ЧПР), принимающему решения при управлении водоотливным комплексом – главному диспетчеру шахты, что позволяет диспетчеру контролировать процесс и при необходимости управлять им. Аппаратная реализация функций подсистемы ПСИР осуществляется с помощью автоматизированного рабочего места диспетчера.

В соответствии с вышеизложенным, разработана структурная схема система мониторинга и автоматического управления водоотливным комплексом (см. рисунок 2). Структура системы трехуровневая, с применением промышленных сетей.

Уровень ввода / вывода

Нижний уровень – уровень ввода / вывода, обеспечивает сбор данных о параметрах технологического процесса и состояния оборудования, реализует управляющие воздействия. Исходя из анализа работы водоотливного комплекса шахты, определены необходимые датчики с электрическим выходным сигналом, которыми должна оснащаться каждая насосная установка: датчик контроля заливки водой насоса в пусковом режиме установки; расходомер; датчик давления воды в нагнетательном трубопроводе; мановакуумметр; датчик контроля активной мощности, потребляемой приводным электродвигателем насоса; датчики контроля температуры подшипников насоса и приводного электродвигателя; датчики положения запорной арматуры задвижек. Кроме того, каждая насосная станция должна иметь аналоговый уровнемер воды в водосборнике. Управляющие команды реализуются путем включения/выключения коммутационной аппаратуры – магнитные пускатели для низковольтных электродвигателей и высоковольтные ячейки для высоковольтных электродвигателей.

В работе проведен анализ наличия указанных датчиков и возможности их применения в подземных условиях шахт. Так, датчики

контроля заливки, датчики температуры и датчики положения могут быть использованы от аппаратуры ВАР.1М.

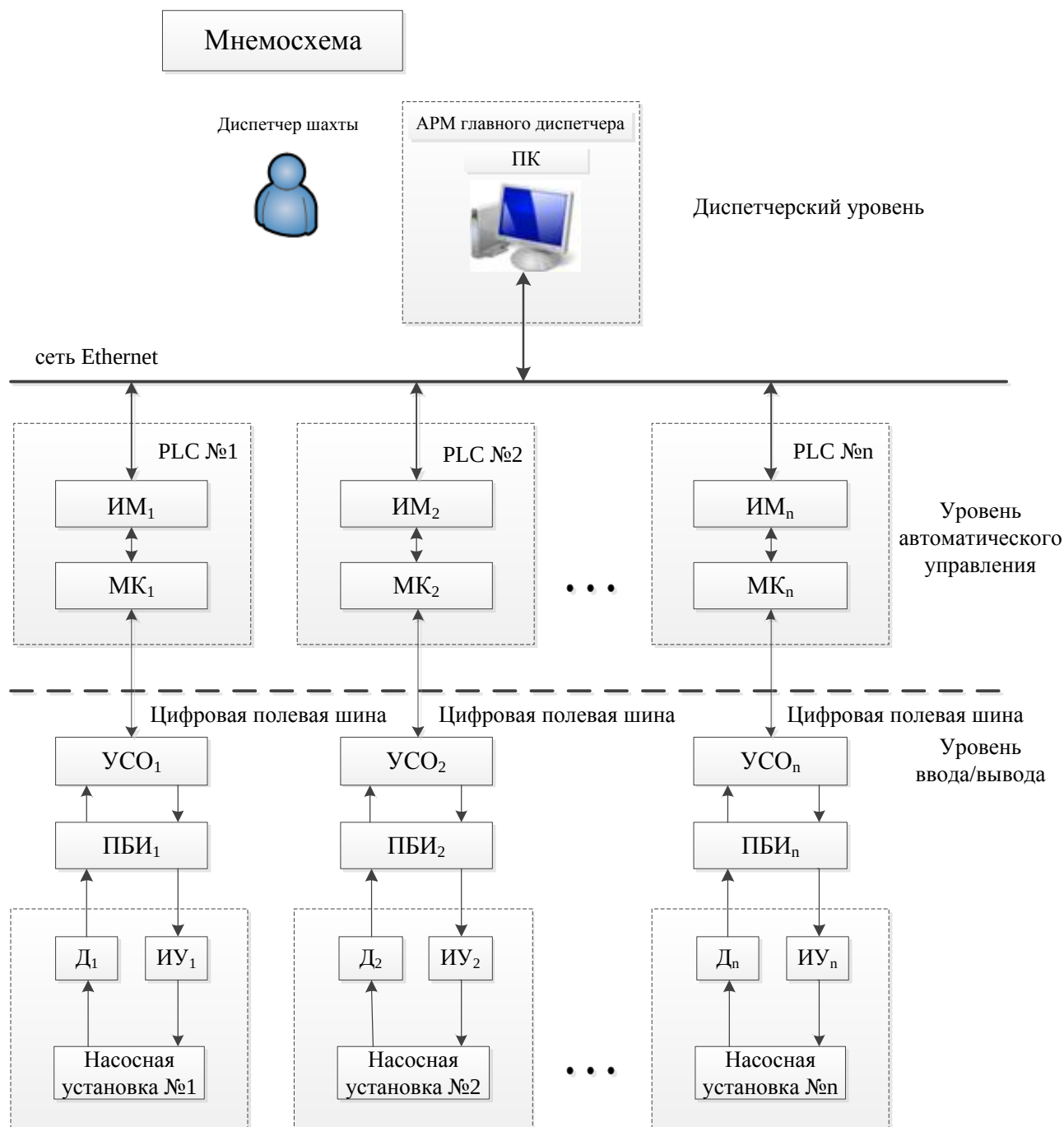


Рисунок 2 – Структурная схема системы мониторинга и автоматического управления водоотливным комплексом шахты

В качестве расходомера может быть применен только расходомер переменного перепада давления с трубой Вентури.

Существует проблема с измерением активной мощности, потребляемой высоковольтным электродвигателем насоса водоотливной установки. Для стандартного подключения контрольно-измерительных устройств контроля активной мощности (по схеме Арона), необходимо иметь выводы двух вторичных токов ($0 - 5\text{А}$) и двух линейных напряжений ($0 - 100\text{В}$). На действующих шахтах в качестве коммутационной аппаратуры (КРУ) приводного электродвигателя насоса в основном применяют высоковольтные ячейки типа КРУВ-6В-УХЛ5 или КРУВ-6Д-УХЛ5 с электромагнитными или вакуумными выключателями. В ячейку встроен трансформатор напряжения TV (типа НОЛ.11-605) мощностью $S_H = 400\text{ВА}$, подключённый к двум фазам высоковольтной сети (U_{AC}), соответственно имеется вывод только одного вторичного линейного напряжения $U_{AC} = 100\text{В}$. При включённой ячейке КРУВ-6, нагрузка TV составляет $7 - 10\% S_H$, то есть режим близок к режиму холостого хода, и из этого следует, что относительная погрешность TV будет находиться пределах $0,5 - 1\%$. В ячейках КРУВ-6 также встроены два трансформатора тока ТТ1 и ТТ2 (типа ТЛКИ-6), соответственно имеются выводы двух вторичных токов ($I_{2A} = I_{2C} = 0 - 5\text{А}$). Нагрузкой трансформаторов токов являются электромагнитные реле максимально токовой защиты, которые обладают индуктивным сопротивлением, а также имеющие последовательно включённый контакт переключателя для выбора уставки токовой защиты. Данная схема включения нагрузки приводит к значительному снижению стабильности и класса точности ТТ, примерно составляет $2 - 3\%$, что не приемлемо для технологических контрольно-измерительных устройств контроля активной мощности, а следовательно расхода электроэнергии.

Предлагается следующее техническое решение. Вводная высоковольтная ячейка КРУВ-6В-ВВ электроподстанции насосной станции водоотлива оснащается трехфазным измерительным трансформатором напряжения (ИТН), от которого к каждой высоковольтной ячейке отходящих присоединений КРУВ-6В-ОП подаётся трёхфазное напряжение $U_{тр} = 100\text{В}$ (см. рисунок 3). Для повышения класса точности измерения силы тока ($0,5 - 1,0\%$) в высоковольтной ячейке отходящих присоединений КРУВ-6В-ОП дополнительно, без существенного изменения конструкции ячейки, монтируются два малогабаритных тороидных трансформатора тока ТТН, предназначенных для электронных счётчиков электроэнер-

гии, например, производителей OWL, Allegro, или Honeywell. Таким образом, количество первичных датчиков становится достаточным для подключения к высоковольтной ячейки устройства контроля активной мощности УКМ (по схеме Арона).

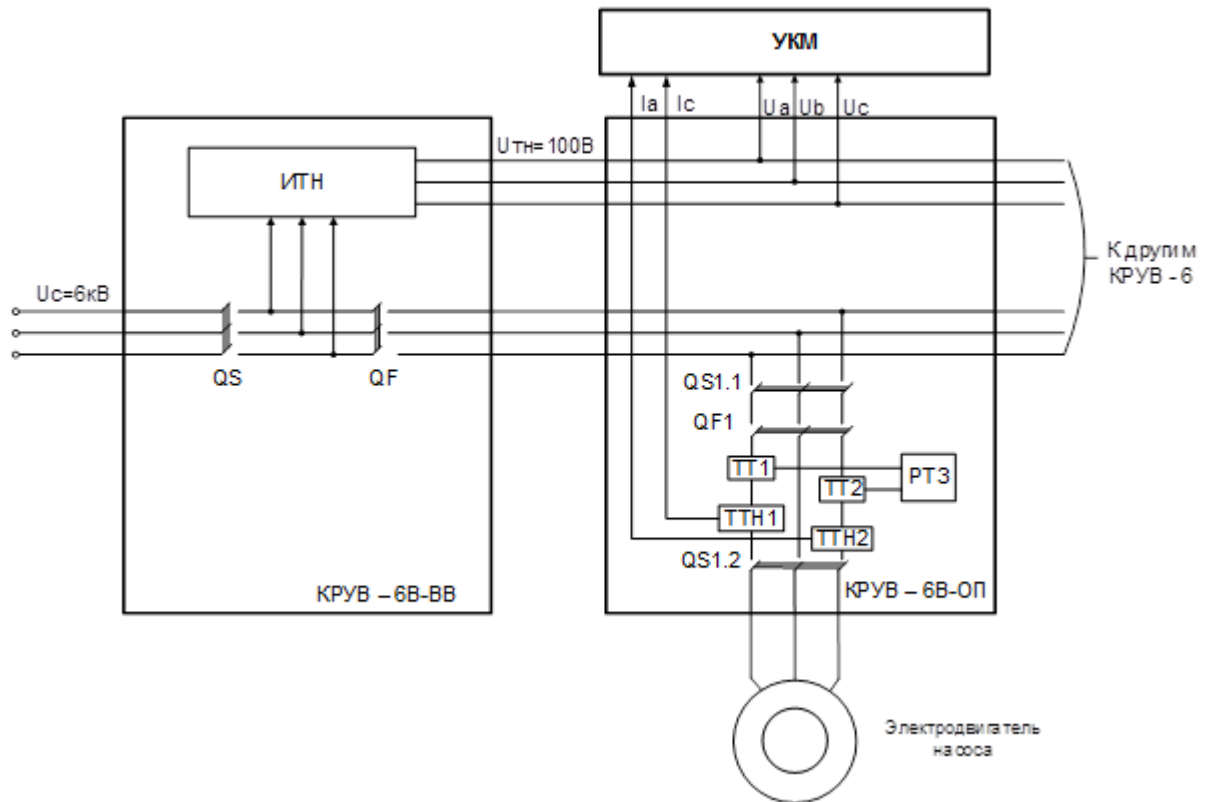


Рисунок 3 – Структурная схема подключения к высоковольтной ячейки устройства контроля активной мощности

Вторая проблема, это контроль аналогового уровня воды в водосборнике. В настоящее время не существует таких уровнемеров, чтобы можно было их надежно применять в водосборниках подземных водоотливных насосных станций шахт. В работе предлагается следующее техническое решение. Гидравлическая схема уровнемера приведена на рисунке 4. Предлагаемый уровнемер состоит из приемного (измерительного) узла и дифференциального манометра, например, типа ДМИР. Приемный узел уровнемера представляет собой коробку 1 с измерительной (импульсной) трубкой 2 для присоединения узла к манометру 3, что имеет две камеры, разделенные упругим элементом 4 (круглой гофрированной

мембраной). Измерительная трубка приемного узла подведена к «плюсовой» камере манометра, а его «минусовая» камера сообщается с атмосферой. Таким образом уровнемер является дифференциальным, потому что измеряется разность давлений P_a (атмосферного) и P_H (гидростатического). В центре упругого элемента, который преобразует давление в камере «+» (пропорциональное уровню воды в водосборнике 6 в линейное перемещение мембраны, жестко укреплен ферромагнитный сердечник 5. Сердечник перемещается внутри неподвижной катушки дифференциального трансформатора ДТ, состоящий из первичной обмотки и двух одинаковых и встречно включенных вторичных обмоток.

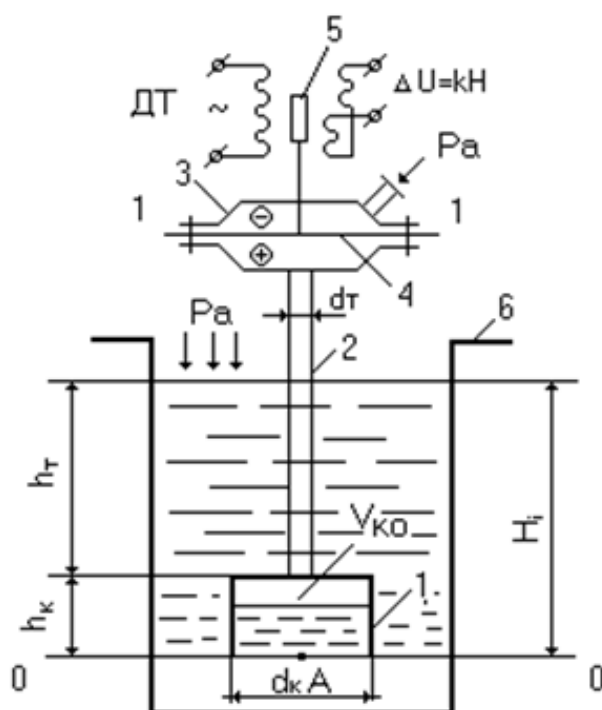


Рисунок 4 – Гидравлическая схема уровнемера

На выходе такой схемы появляется разностный сигнал, пропорциональный перемещению сердечника (3-5 мм), обусловленными изменениями закона Гука для упругих элементов подобных преобразователей, такой уровнемер имеет линейную выходную характеристику: $\Delta U = k$.

Работа уровнемера состоит в следующем. При нижнем уровне воды в водосборнике измерительная коробка 1 не погружена в воду и объем воздуха, заключенный между плоскостями сравнения 0 - 0 и 1 - 1, и реальный объем воздуха V_0 находятся под атмосферным

давлением P_a . При этом давление в камерах « + » и « - » одинаковое, и перепад равен нулю. Ферромагнитный сердечник 5 принимает среднее положение относительно катушки ДТ и сигнал на его вторичных обмотках равен нулю. При наполнении водосборника водой уровень в нем растет и растет давление в точке А, пропорционально уровню $P_A = P_0 + \rho g H_i$. Под действием этого давления начальный объем воздуха V_0 уменьшается за счет сжатия. Это давление передается в камеру «+» манометра, где на чувствительный элемент действует разность давлений $P_a - P_0 = \Delta P = \rho g H_i$. Под действием этого перепада давления упругость элемента деформируется и перемещает сердечник 5 от среднего положения вверх, баланс сигналов на вторичных обмотках ДТ нарушается и на выходе возникает величина $\Delta U = k \cdot H_i$, В, где k - постоянный коэффициент пропорциональности, характеризующий упругие свойства воспринимающего элемента (мембрана), H_i - текущий уровень воды в водосборнике.

Для передачи информации от датчиков и команд управления на исполнительные устройства на уровне ввода/вывода системы СМУВК предусмотрены устройства распределенной периферии – устройства связи с объектом УСО (см. рисунок 2). Такие устройства содержат необходимые модули ввода и вывода как аналоговых, так и дискретных сигналов, а также интерфейсные модули для подключения к PLC через цифровую полевую шину. Например, устройство УСО фирмы Siemens ET 200M содержит 6 модулей ввода/вывода, 1 интерфейсный модуль Profibus и блок питания. Цифровая передача всех сигналов осуществляется по одному кабелю с высоким уровнем помехозащищенности. Обязательным условием, является подключение исполнительных устройств и датчиков к УСО через барьеры искробезопасности, например, типа ПБИ компании ООО «Ингортех».

Уровень автоматического управления

Уровень автоматического управления является средним уровнем иерархии управления системы СМУВК. На данном уровне, функции управления реализуются с помощью программируемых логических контроллеров PLC.

В системе СМУВК контроллеры PLC выполняют следующие функции:

- включение - выключение коммутационной аппаратуры приводных электродвигателей насосов в зависимости от уровня воды в водосборнике или по командам с операторского уровня;
 - включение - выключение коммутационной аппаратуры приводных электродвигателей задвижек и заливочного насоса;
 - сбор и обработка информации о следующих технологических параметрах: давление воды в нагнетательном трубопроводе; вакуум в всасывающем трубопроводе; расход электроэнергии водоотливной установкой; состояние коммутационной аппаратуры электродвигателя (включено - выключено) насоса; состояние токовых защит электродвигателя (сработала защита или нет); положения задвижек; температуру подшипников насоса и приводного электродвигателя;
 - следующие виды защиты насосной установки:
 - гидравлическая защита по расходу воды и величине давления в нагнетательном трубопроводе - защита от работы в режимах, не совпадающих с расчетными;
 - защита от развития кавитации по величине расхода воды и вакуума в всасывающем трубопроводе насоса;
 - защита при перегреве подшипников насоса или подшипников его приводного электродвигателя;
 - светоиндикацию на информационной панели насосной станции о состоянии насосной установки и срабатывании защит;
 - обмен информацией с другими узлами промышленной сети;
- Автоматическое управление насосной установкой осуществляется по типовому алгоритму, по которому осуществляется управление, например, аппаратурой ВАВ.1М.

Автоматическое регулирование насосных установок по подаче не предусмотрено по ряду причин, в частности отсутствия регулируемого высоковольтного электропривода насосов в взрывобезопасном исполнении.

Информация от УСО в контроллер PLC и передача команд управления в УСО осуществляется по цифровой полевой шине. Предлагается использовать промышленную шину типа PROFIBUS PA [2]. Благодаря низкой энергии передаваемого сигнала Profibus PA является искробезопасной электрической цепью и может быть использована во взрывоопасных зонах. Profibus PA использует физический уровень, соответствующий стандарту IEC 1158-2. Данные

передаются с помощью уровней тока + 9 мА и - 9 мА ("токовая петля"). Используется манчестерский код (логический ноль соответствует смене отрицательного тока на положительный, а логическая единица - положительного на отрицательный). Скорость передачи составляет 31,25 кбит/с, в качестве линии передачи используется витая пара в экране или без него. Один сегмент сети может содержать до 32 устройств. Максимальная длина кабеля достигает 1,9 км.

Контроллер должен иметь исполнение для применения в подземных угольных шахтах, в том числе опасных по газу и пыли. Например, контроллер универсальный типа КУШ компании ООО «Ингортех».

Диспетчерский уровень

Диспетчерский уровень системы СМУВК является верхним уровнем системы и предназначен для:

- мониторинга состояния и рабочих параметров насосных установок водоотливного комплекса шахты: включена или выключена насосная установка; текущая величина уровня воды в водосборнике каждой насосной станции; отключение насосной установки водоотливного комплекса в периоды максимальных нагрузок в системе электроснабжения шахты;
- обработки и отображения в графическом виде на мнемосхеме, мониторе или панелях визуализации диспетчера шахты контролируемой информации;
- ведение базы данных технологической информации о работе водоотливного комплекса, ее архивирования и резервирования;
- генерирования отчетов о работе водоотливного комплекса;
- координации работы насосных установок водоотливного комплекса шахты в пусковом и стационарном режимах, в том числе с учетом периодов максимальных нагрузок в системе электроснабжения шахты.

Последняя функция означает следующее. Так как водоотлив осуществляется по многоступенчатой схеме, то без контролируемого включения насосной установки, расположенной на нижнем горизонте, может привести к затоплению водосборника на верхнем горизонте, если его емкость будет не достаточна для приема воды,

которую будет перекачивать включаемая насосная установка. Поэтому в пусковом режиме насосной установки система СМУВК на диспетчерском уровне, после определения свободного объема водосборника, в который будет перекачиваться вода, формируется «разрешение» на включение установки.

При работе в стационарном режиме насосные установки водотливного комплекса являются крупным потребителем электроэнергии. При этом насосные установки имеют свободный график работы в зависимости от уровня воды в водосборнике и относятся к тем установкам, которые можно отключить от работы без ущерба производству при наличии свободной емкости водосборника достаточного объема для приема воды из горных выработок и от других насосных установок на период отключения насосной установки. Поэтому система СМУВК на диспетчерском уровне в результате анализа текущего уровня воды в водосборниках, прогнозного притока воды к ним в период максимальной нагрузки на систему электроснабжения, свободного объема водосборников до начала «максимума» формирует команду на отключение насосной установки или установок.

На диспетчерском уровне расположено автоматизированное рабочее место диспетчера (АРМ) на базе РС совместимых компьютеров промышленного исполнения.

Подключение оборудования, располагающиеся на диспетчерском уровне, к PLC и сети предприятия, осуществляется с помощью шины Industrial Ethernet. Возможность использования Industrial Ethernet определяется следующими факторами: простота интеграции новых устройств в существующую сеть; Ethernet является достаточно распространенным интерфейсом, поэтому сетевые платы и маршрутизаторы общедоступны.

Компьютер АРМ подключается к контроллерам уровня управления напрямую без промежуточного коммутатора.

Список источников.

1. Свечкарев, В.П. Системы автоматизации и управления технологическими производствами: Учеб. пособие / В.П. Свечкарев. - Новочеркасск: ЮРГТУ, 2002. - 159с.
2. Борисов, А.М. Основы построения промышленных сетей автоматики: Учеб. Пособие / А.М. Борисов. - Челябинск: ЮУрГУ, 2012. - 108 с.