

АВТОМАТИЗАЦИЯ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 62-83-52:622.445

А.С. Иванов, А.Т. Мещерин, Ю.А. Мещерина, Е.В. Пугачёв, Э.Е. Пугачёва

Сибирский государственный индустриальный университет

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ ШАХТНЫХ ВЕНТИЛЯТОРНЫХ УСТАНОВОК

Научная школа «Информационно-материальные технологии в электромеханических системах горно-металлургического комплекса» в составе сотрудников ООО Научно-производственной фирмы «ИНТЕХСИБ», кафедр электромеханики, электротехники и электрооборудования СибГИУ работают на рынке товаров, работ и услуг для горнорудной промышленности. В начале работа осуществлялась в составе Научно-исследовательского сектора Сибирского металлургического института (1993 – 1995 гг.), затем с 1995 по 2004 гг. – в Кузбасском филиале Инженерной Академии России – в лаборатории «Рудничное электрооборудование».

В 2004 г. было зарегистрировано предприятие ООО Научно-производственная фирма «ИНТЕХСИБ» (инновационные технологии Сибири), которая посредством тендеров выполняет работу на предприятиях Кузбасса в филиалах ОАО «Евразруда» – Горно-Шорский (пос. Шерегеш), Казский (пос. Каз), Таштагольский, а также ОАО «ЮжКузбассуголь» – шахта «Есаульская». Помимо этого, работы ведутся в республике Казахстан – Соколовско-Сарбайское горнообогатительное производственное объединение; Лисаковский ГОК (Кустанайская обл.); ш. «Юбилейная» (Актюбинская обл.); ш. Западный Каражал (Карагандинская обл.).

Одним из основных направлений сотрудничества Научно-производственной фирмы «ИНТЕХСИБ» с предприятиями Кузбасса является оснащение вентиляторов главного проветривания и газоотсасывающих установок автоматизированными системами контроля и управления.

Первым опытом в этом направлении явилась работа на шахте Казского филиала по разработке и внедрению плавного запуска синхронного электродвигателя вентиляторной установки ВОД-40 и мониторинга параметров по контролю и управлению. Необходимость плавного запуска мощного синхронного электродвигателя вызвана тем, что при его вклю-

чении из-за больших пусковых токов, достигающих семи номинальных значений, возникает просадка напряжения в высоковольтной сети рудника. Это особенно опасно для электропотребителей первой категории (шахтные подъемные установки).

Для обеспечения плавного запуска синхронного электродвигателя разработан специальный комплект аппаратуры на основе индукционного ступенчатого регулятора напряжения (автотрансформатор) и трехфазного вакуумного выключателя.

В результате анализа существующих систем пуска установлено, что тиристорный преобразователь мало пригоден для этой цели ввиду чувствительности к грозовым перенапряжениям и высокой стоимости (в несколько раз дороже предложенного электрооборудования). Кроме того, в режиме регулирования сильно искажается форма тока, что приводит к сбоям в работе электрооборудования этого узла.

Разработанное устройство плавного запуска синхронного электродвигателя вентиляторной установки ВОД-40 состоит из автотрансформатора мощностью 630 кВА и напряжением 6,0/3,2 кВ, станции трехфазных сертифицированных вакуумных выключателей, системы управления этой станцией и защит от перенапряжений.

Предлагаемая система плавного запуска ограничивает пусковой ток на фазе разгона с 1200 до 300 А. Длительность пуска синхронного электродвигателя составляет до 90 с и зависит от фактической скорости вращения электродвигателя. Перед вхождением электродвигателя в синхронизм на короткое время (в течение 3 – 4 с) появляется бросок тока до 400 А, который затем снижается до 35 А (в 4,3 раза ниже номинального тока), что обеспечивается регулированием тока возбуждения синхронного электродвигателя.

Разработанный «Комплект электрооборудования для управления приводом вентилятора с высоковольтным синхронным электродвигателем» имеет сертификат соответствия (реги-

страционный номер РОСС RU.MT02.BO1174) и награжден дипломом «Серебряная медаль» выставки-ярмарки «Уголь России и Майнинг» в 2008 г.

Комплект электрооборудования можно использовать при температуре окружающего воздуха от -10 до $+40$ °С; для радиомодемов – от -40 до $+60$ °С и влажности 90 % при температуре окружающего воздуха $+30$ °С.

В состав комплекта электрооборудования входит следующая электроаппаратура:

- автотрансформатор 630 кВ с отводами 3,2; 6,0 кВ;
- станция высоковольтных вакуумных контакторов ВВР-6/10, 630 А;
- измеритель скорости и направления вращения турбин вентиляторной установки;
- термодатчики в комплекте с прибором «Овен»;
- вибропреобразователь с согласующим усилителем – 1 шт.;
- трансформатор 3 х 380/3 х 90 В, 50 кВА;
- радиомодемы «Невод-5» уличного исполнения с антеннами – 3 комплекта;
- рабочая станция диспетчера на базе персонального компьютера;
- комплект программного обеспечения для микроконтроллера блока обработки данных и радиомодемов;
- комплект программного обеспечения для отображения и архивирования информации на рабочей станции диспетчера;
- многофункциональная система управления, обеспечивающая взаимодействие всех систем автоматики (управления, защит и блокировок), а также преобразование электроэнергии для питания отдельных аппаратов и обмотки возбуждения синхронного электродвигателя.

Основные технические характеристики комплекта электрооборудования следующие:

- максимальный ток в линии питания 6,0 кВ не более 400 А; длительность пикового значения тока от 2 до 4 с ;
- продолжительность разгона до подсинхронной скорости не более 90 с ;
- ток тиристорного возбудителя регулируемый, может стабилизироваться в диапазоне от 100 до 300 А; коэффициент стабилизации тока при изменении питающего напряжения и температуры обмоток возбуждения не менее 10;
- номинальный ток станции высоковольтных контакторов 630 А, ток отключения 5 кА.

Управление пуском вентилятора осуществляется следующими способами:

- местное;

– дистанционное по проводной пятижильной линии от пульта диспетчера;

– дистанционное по радиоканалу посредством радиомодемов от пульта диспетчера.

Система пуска вентиляторной установки оснащена следующими защитами и блокировками: максимально-токовой защитой статора и ротора синхронного электродвигателя; защитой от «асинхронного режима» работы; защитой от обрыва цепи возбуждения; защитой от исчезновения давления и протока масла в системе смазки подшипников; виброзащитой турбины; температурной защитой подшипников и обмоток статора синхронного электродвигателя; запретом отключения маслососа при вращающейся турбине; блокировкой пуска «вдогонку» в противоположном направлении вращения; блокировкой пуска вентилятора при исчезновении любого канала в источнике питания; минимальной защитой цепи 6,0 кВ.

Отображение информации на пульте диспетчера осуществляется по 8 аналоговым и дискретным каналам. Дальность радиосвязи – в пределах прямой видимости антенн (до 10 км) без ретранслятора (разрешение Росвязнадзора не требуется). Архив имеет шаг развертки от 30 с до 24 ч.

В состав комплекта электрооборудования входят:

- высоковольтная часть электрооборудования, состоящая из отдельно стоящих автотрансформатора сухого исполнения и станции вакуумных контакторов, соединенных кабельными перемычками между собой;
- РУ 6,0 кВ и синхронного электродвигателя;
- согласующий трансформатор тиристорного преобразователя и пусковые сопротивления, закрытые кожухом размером $1500 \times 1000 \times 500$ мм и установленные рядом с системой управления;
- измеритель скорости, состоящий из чувствительного элемента индукционного типа, установленного на валу электропривода и электронного модуля;
- термодатчики и вибропреобразователь, установленные на опорах подшипников турбины и электродвигателя;
- радиомодемы, установленные около антенн и соединенные кабелем со шкафом управления, с одной стороны, а также пультом диспетчера и персональным компьютером, с другой; при необходимости устанавливается промежуточный модем с широко направленной антенной-ретранслятором;
- функциональные блоки управления, защиты, питания, обработки информации, вы-

полненные в виде модулей размером 1500×100×500 мм.

В модуле размещены тиристорный возбудитель синхронного электродвигателя; блок реле управления КРУ-6,0 кВ и станцией вакуумных контакторов; блок пускателей для управления маслососами, тормозом и устройством подогрева масла; стабилизированный преобразователь тока удержания вакуумных контакторов; панель грозозащиты линий дистанционного проводного управления; источник бесперебойного электропитания радиомодемов; клеммные ряды зажимов для контрольных и силовых кабелей.

На лицевой части шкафа установлена панель управления и индикации с контрольно-измерительными приборами.

Разработанный комплект электрооборудования для «мягкого» запуска синхронного двигателя и управления вентиляторной установкой внедрен на Казском филиале ОАО «Евразруда», что позволило существенно улучшить показатели энергопотребления рудника.

Научно-производственной фирмой «ИНТЕХСИБ» в 2010 и 2011 гг. по договору подряда разработана, изготовлена и внедрена автоматизированная система управления КУГВ-01 тремя вентиляторными установками главного проветривания 4ВЦ-15 и одной газоотсасывающей вентиляторной установкой УВЦГ-15 на филиале «Шахта «Есаульская» ОАО «Южжубассуголь».

Объектами управления комплекса КУГВ-01 для условий ООО «Шахта «Есаульская» являются следующие установки:

- вентиляторная установка, расположенная на устье путевой штольни, состоящая из четырех вентиляторов типа ВЦ – 15 (три в работе, один в резерве);

- вентиляторная установка, расположенная на заезде № 2, состоящая из четырех вентиляторов типа ВЦ – 15 (три в работе, один в резерве);

- вентиляторная установка, расположенная на устье вентиляционной штольни, состоящая из четырех вентиляторов типа ВЦ – 15 (один в работе, три в резерве);

- газоотсасывающая установка, расположенная на устье флангового хода 26-53 пласта 26а, состоящая из четырех вентиляторов типа УВЦГ – 15 (три в работе, один в резерве).

Комплекс КУГВ-01 осуществляет по заданному алгоритму автоматическое управление приводами вентиляторов и ляд (пуск, останов, реверс).

Комплекс реализует местное и дистанционное управление с принудительной рассинхро-

низацией пусковых интервалов каждого вентилятора (до 12 агрегатов в группе), а также обеспечивает автоматический повторный запуск при пропадании напряжения сети 6,0 кВ на короткое время и автоматический ввод резервных вентиляторов.

Аппаратура взаимодействует с датчиками телеметрии искробезопасного исполнения для осуществления контроля за работой и обеспечения защиты и блокировки. Передача информации от удаленных активных датчиков осуществляется частотным способом, что снижает потребляемый ток системы телеметрии и местного управления до искробезопасных уровней и повышает достоверность передачи данных в условиях сильных электромагнитных помех. Работоспособность активных датчиков и микропроцессорных преобразователей сохраняется в диапазоне от –50 до +60 °С.

Встроенные источники бесперебойного электропитания обеспечивают функционирование системы управления и телеметрии в течение шести часов при пропадании сети 0,4 кВ; приближение барьеров искрозащиты и источника питания телеметрии к границе искробезопасной зоны повышает запас по искробезопасности за счет снижения реактивных параметров линии связи с датчиками.

Тиристорные приводы лебедок ограничивают вращающий момент при пуске и обеспечивают поджатие ляд без опасности повреждения механического оборудования.

Применение проводного канала и радиолнии между диспетчерским и операторским пультом, двух панелей отображения у диспетчера повышает надежность функционирования канала связи и представления информации, а применение экранированного морозостойкого кабеля в сочетании с буферами грозовой защиты повышает надежность работы системы телеметрии и местного управления.

Шкаф управления вентиляторами ШУГВ-01 состоит из панели управления для оператора; функциональных блоков управления высоковольтными выключателями и приводом лебедки; цифровых устройств отображения, защит и блокировок; источника бесперебойного электропитания всех узлов комплекса КУГВ-01 при пропадании сети 0,4 кВ на время до четырех часов.

В комплект поставки входит модуль приема-передачи сигналов по радиолнии и через искробезопасный барьер по проводной или подземной линии.

Распределительный пункт сигналов телеметрии и местного управления РСТ-01 содержит активные датчики темпера-

туры и вибрации; датчики давления; клеммные коробки с встроенными микропроцессорными преобразователями параметров датчиков в частоту, работающими в диапазоне $-50 \div +60$ °С; шкафа РСТ-01 с барьерами искробезопасности и преобразователем электропитания с искробезопасным выходом.

Кроме того, в комплект системы входит шкаф ШУЛ-01 с встроенным тиристорным регулятором для ограничения момента на валу ляды; пульт диспетчера с модулем приема-передачи информации по радиоканалу и через барьер искробезопасности по проводной, подземной линии; радиомодемы с антеннами «Невод» при необходимости с ретранслятором сигналов.

Шкаф ШУГВ-01 имеет настенное исполнение с односторонним доступом. Функциональные блоки шкафа каркасной конструкции. Взаимодействие шкафа ШУГВ-01 с ячейками РУ-6,0 кВ осуществляется через модули управления высоковольтными выключателями.

Шкаф ШУЛ-01 с тиристорным электроприводом лебедки также имеет настенную конструкцию.

Распределительный пункт РСТ-01 в закрытом герметизированном корпусе устанавливается на границе искроопасной и искробезопасной зон и соединяется с операторской многожильным телефонным кабелем и экранированными кабелями с клеммными коробками ККИ-1 и пультом местного управления лядой.

Клеммные коробки, в которых установлены микропроцессорные преобразователи входных сигналов в унифицированный частотный код, устанавливаются рядом с объектами и подключаются к датчикам экранированным кабелем. Частотный сигнал через оптобарьеры гальванической развязки шкафа РСТ-01 с прочностью свыше 2,5 кВ передается на входные буферы шкафа ШУГВ-01. Частотное представление сигналов с датчиков обеспечивает достоверность передачи данных на значительное расстояние в условиях сильных электромагнитных помех, например, от проложенных рядом высоковольтных кабелей.

Пульт диспетчера связан с операторской по двухпарной линии и радиоканалу. Мощность передатчиков радиомодемов 10 мВт не требует разрешения на применение. Дальность связи в пределах видимости – до четырех километров, а при ее отсутствии устанавливается дополнительный радиомодем-ретранслятор.

Отображение на пульте диспетчера обеспечивается высокоскоростным каналом по радио на мониторе ПК, а проводной канал обеспечивает передачу команд управления и дублиро-

вание отображения основных параметров на светодиодах панели. Количество органов управления на пульте диспетчера минимизировано благодаря схемотехническим и аппаратным решениям по пуску, останову, реверсу вентиляторов, не требующим вмешательства в процесс смены режима работы вентиляторной установки.

Искробезопасность цепей телеметрии и местного управления – по ГОСТ Р52350.11 – 2005 г. Достигается снижением тока, потребляемого телеметрией каждого вентилятора до уровня 100 мА при $E_{пит} = 12,6$ В; уменьшением индуктивности, емкости цепей коробки ККИ-1 за счет установки барьеров искробезопасности на границе зон в 30 м от агрегата; применением развязки на базе сертифицированных оптронов; использованием трансформаторной развязки для частотно-манипулированных сигналов по проводной подземной линии с ограничением тока и напряжения на искробезопасном уровне с учетом L_0 , C_0 линии; ограничением уровня напряжения в связанных системах на уровне 24 В.

Местное управление осуществляется магнитными ключами для исключения несанкционированных действий случайного характера.

Суммарная мощность системы управления комплекса КУГВ-01 с телеметрией и пультом диспетчера не превышает 30 Вт при напряжении питания 12 – 14 В, что позволяет использовать в качестве ИБП стандартные герметичные аккумуляторы 12 В, 7 А·ч.

Отображение информации обеспечивается индикаторами программируемых защитных устройств ПЗУ-1 шкафа ШУГВ-01; светодиодами панели управления оператора; светодиодами пульта диспетчера; монитором ПК диспетчера.

Программное обеспечение позволяет на мониторе ПК реализовать режимы непрерывного контроля за состоянием всех включенных агрегатов; осциллографирования процессов запуска и реверсирования вентиляторной установки; просмотра архивной информации; настройки вышеперечисленных экранов монитора.

Область применения указанных разработок – взрывоопасные зоны помещений и наружных установок, горные выработки угольных шахт, в том числе опасных по газу или пыли, согласно маркировке взрывозащиты.

Правилами безопасности в угольных шахтах и другими нормативными документами регламентируется применение электрооборудования, расположенного вне взрывоопасной зоны и связанного внешними искробезопас-

ными цепями с электротехническими устройствами, установленными во взрывоопасной зоне и вне взрывоопасной зоны (см. рисунок).

Основные технические характеристики и место расположения устройств комплекса КУГВ-01:

- пульты диспетчера и оператора – вне взрывоопасной зоны;
- источники бесперебойного питания – вне взрывоопасной зоны;
- реле управления пусковой аппаратурой – вне взрывоопасной зоны;
- устройства преобразования напряжения – вне взрывоопасной зоны;
- клеммные коробки преобразования информации типа ККИ, пульт местного управления ПМУ-4 – во взрывоопасной зоне;
- датчики температуры, вибрации, давления, скорости воздушного потока и положения – во взрывоопасной зоне.

Прочность изоляции между цепями комплекса КУГВ-01 и землей составляет более 500 В, прочность изоляции между искробезопасными цепями и цепями комплекса КУГВ-01 – более 1500 В.

Уровень и вид взрывозащиты составных частей комплекса КУГВ-01:

- пульт диспетчера – [Exia]I;
- центробежный модуль приема-передачи информации ЦМПИ-1 оператора – [Exia]I;
- распределитель сигналов телеметрии РСТ-01 – [Exia]I;
- клеммные коробки преобразования аналоговых сигналов датчиков в частотный сигнал ККИ-1,2,3 – [Exia]I;
- пульт местного управления ПМУ-4 – ExiaI;
- датчики температуры ДТА-1 – ExiaI;
- датчики вибрации ДВА-2 – ExiaI;
- датчики скорости воздушного потока по маркировке взрывозащиты – ExiaI;
- активные преобразователи избыточного давления теплоносителя в калорифере ЗОНД-10 Exi-ИД 0ExiaIICT6X;
- активные преобразователи дифференциального давления воздуха в вентиляционном канале ЗОНД-10 Exi – ДД 0ExiaIICT6X.

Степень защиты, обеспечиваемая оболочками взрывозащищенных изделий по ГОСТ 14254 – 96, не менее IP64 для распределительного пункта РСТ-01, коробки ККИ-1,2,3, ПМУ-4, датчиков; IP20 для пульта диспетчера, модуля ЦМПИ-1 и оператора.

В связи со специфическими условиями работы групп центробежных вентиляторных установок 4ВЦ-15 и УВЦГ-15 и предотвращения перегрузок шахтной электрической сети вентиляторные установки в группе включают-ся индивидуально с интервалом 20 с.

Для обеспечения надежной работы вентиляторных установок предусмотрена защита их узлов: от предельно-допустимых значений параметров; автоматического ввода резервного вентилятора при остановке рабочего; преобразования параметров, характеризующих работу вентиляторных установок в электрический сигнал с последующей обработкой и передачей на пульты диспетчера и оператора для отображения информации.

Комплект системы управления группами вентиляторных установок (КУГВ-01) одним из первых в России сертифицирован по ГОСТ Р 52350.11 – 2005, регистрационный № РОСС RU.ME92.A02367. Он может применяться на вентиляторных установках главного проветривания, газоотсасывающих и дегазационных – для угольных шахт, опасных по газу или пыли, и имеет Разрешение на применение от Ростехнадзора № РРС 00-044033. Малое энергопотребление слаботочных электрических цепей электронных схем управления телеметрии обеспечивает комплексу КУГВ-01 непрерывную работу в течение семи часов от внутреннего бесперебойного источника питания. Комплекс КУГВ-01 в 2013 г. награжден дипломом Гран-при на Международной выставке «Уголь России и Майнинг».

Выводы. Приведены новые разработки систем автоматического управления вентиляторными главного проветривания угольных шахт и рудников; их конструктивное исполнение и функциональные возможности отвечают высоким требованиям обеспечения безопасности ведения горных работ. Системы отвечают также требованиям дизайна и надежности, что подтверждается опытом эксплуатации внедренных в производство комплексов названного электрооборудования. Научная школа СибГИУ и Научно-производственная фирма «ИНТЕХСИБ» рекомендуют предлагаемые управляющие комплексы для расширенного внедрения в производство.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сорокин А.А., Мещерин А.Т., Пугачев Е.В., Ваулин Г.А., Сухов М.В., Машерина Ю.А., Иванов А.С. Опыт эксплуатации автоматизированных вентиляторных установок для угольных шахт и рудников // Научные разработки и использования минеральных ресурсов. Сб. науч. ст.; под общ. ред. В.Н. Фрянова. – Новокузнецк: изд. СибГИУ, 2013. С. 203 – 207.

2. Сорокин А.А., Мещерин А.Т., Пугачев Е.В., Баулин Г.А., Сухов М.В., Мещерина Ю.А., Ершов А.М., Иванов А.С. Комплекс управления группами шахтных вентиляторных установок // Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов: сб. науч. ст. междунар. науч.-практич. конф.; под ред. В.Н. Фрянова. – Новокузнецк: изд. СибГИУ, 2011. – С. 235 – 237.
3. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности в угольных шахтах».
4. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности при ведении горных работ и переработке твердых полезных ископаемых».
5. ГОСТ Р 52350.11 – 2005. Электрооборудование для взрывоопасных газовых сред. Часть 11. Искробезопасная электрическая цепь «i».

© 2015 г. А.С. Иванов, А.Т. Мещерин,
Ю.А. Мещерина, Е.В. Пугачёв,
Э.Е. Пугачёва

Поступила 19 июня 2015 г.