

МОНИТОРИНГОВЫЕ СИСТЕМЫ В ГОРНОМ ДЕЛЕ

УДК 004.5

МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СИСТЕМА ШАХТНОЙ СТВОЛОВОЙ СИГНАЛИЗАЦИИ

С. К. Голушко^{1,2}, Г. П. Чейдо¹, Р. А. Шакиров¹,
С. Р. Шакиров^{1,3}, Д. О. Шевченко¹

¹Институт вычислительных технологий СО РАН, E-mail: ShakirovSR@ict.nsc.ru,
просп. Академика Лаврентьева, 6, 630090, г. Новосибирск, Россия

²Новосибирский государственный университет,
ул. Пирогова, 2, 630090, г. Новосибирск, Россия

³Новосибирский государственный технический университет
просп. К. Маркса, 20, 630073, г. Новосибирск, Россия

Описана одна из компонент многофункциональной системы безопасности — шахтная стволовая сигнализация, реализованная как человеко-машинная система, обеспечивающая безопасность перемещения людей и грузов в условиях горнодобывающего предприятия. Разработаны интерфейсы, схемные и архитектурные решения, применяются “горячее” резервирование и согласованные с задачами коммуникационные протоколы, гарантирующие строгую дисциплину управления, поддержку надежности и безопасности.

Многофункциональная система безопасности, человеко-машинный интерфейс, автоматизация опасных производств, шахтная стволовая сигнализация

DOI: 10.15372/FTPRPI20180122

Современные промышленные предприятия не могут обойтись без систем автоматизации технологических процессов. Особую важность автоматизация приобретает для опасных производств, таких как горнодобывающие. Задача обеспечения промышленной безопасности в угледобывающей отрасли до настоящего времени до конца не решена. Инциденты, связанные с материальными потерями, нанесением ущерба жизни и здоровью горнорабочих, хотя и имеют некоторую тенденцию к снижению, все еще недопустимо многочисленны [1–5]. В связи с этим правила безопасности постоянно ужесточаются.

В течение ряда лет в Институте вычислительных технологий СО РАН (ИВТ СО РАН) ведутся работы по созданию и внедрению на действующих производствах систем автоматизации различного назначения. Горнодобывающие предприятия характеризуются большим количеством разнородных технологических комплексов, объединенных единым производственным циклом. В ИВТ СО РАН созданы автоматизированные системы управления многими из этих комплексов [6, 7]: система управления конвейерным транспортом; система наблюдения, оповещения и поиска персонала; система диспетчерского управления подземным электроснабжением; система управления канатно-кресельной дорогой; система управления водоотливной ус-

тановкой и т. д. Причем все они объединены в интегральную систему, управляемую из единого центра, что обеспечивает заметный синергетический эффект. Одной из таких систем является стволовая сигнализация.

Шахтная стволовая сигнализация занимает особое место среди человеко-машинных систем автоматизации, она устанавливается на вертикальных стволах и обеспечивает контроль спуска и подъема людей и больших горных масс в ограниченном пространстве. Особую значимость она имеет еще и по той причине, что в аварийных ситуациях ствол может явиться единственным путем эвакуации персонала. Ввиду особой важности обеспечения безопасности шахтная стволовая сигнализация в соответствии с требованиями отраслевых правил [8] построена как человеко-машинная система, в которой роль человека более весома, чем в “классических” автоматизированных системах, что выводит на первый план согласованность и безошибочность взаимодействия оператора и системы управления [9, 10]. При создании системы учтены известные принципы построения адаптивного человеко-машинного интерфейса [11, 12]: создание комфортных условий работы персонала, акцентирование внимания на важные события, предотвращение ошибочных действий персонала. Понятие “комфортные условия работы персонала” включает в себя целый комплекс мероприятий: решения по цвето-звуковому оформлению вызовов и запросов, минимизация количества реакций персонала, акцентирование внимания на события повышенной важности и т. д. Интерфейс обеспечивает качество, полноту, доступность и своевременность необходимой информации, что исключает возможность потери контроля ситуации персоналом [13].

Функции персонала распределены по трем категориям — машиниста, рукоятчика, стволового. Управление подъемной машиной осуществляет машинист по командам рукоятчика, находящегося на приемной площадке (на дневной поверхности). Рукоятчик выдает команды, основываясь на сигналах положения подъемного сосуда, сигналах состояния приемного оборудования на горизонтах и на запросах стволовых, рабочие места которых расположены на горизонтах в подземной части ствола.

В настоящее время на шахтах и рудниках нашли широкое применение системы шахтной стволовой сигнализации ШСС-1 (завод “Красный металлист”, г. Конотоп, Украина) [14], “ШАСС Микон” (ООО “Ингортех”, г. Екатеринбург) [15], МАСС (ООО “Институт горной электротехники и автоматизации”, Беларусь) [16], MDJ-100 (MDJ ELECTRONIC, Польша) [17]. Наиболее распространенная система ШСС-1 собрана на релейной логике и в данный момент является морально устаревшей. “ШАСС Микон” и МАСС реализованы на цифровой элементной базе и имеют централизованное микропроцессорное управление — шкаф центральных контроллеров и центральную станцию управления соответственно. Рабочее место машиниста в данных системах представлено современным интерфейсом пользователя, снабженным цветным графическим экраном, однако рабочие места рукоятчика и стволовых по информационной наполненности мало чем отличаются от таковых у ШСС-1.

В работе ставилась задача создания системы, полностью оборудованной интерфейсами, обеспечивающими быстрое и гарантированно безошибочное “считывание” ситуации персоналом и надежное взаимодействие всех уровней системы.

НАЗНАЧЕНИЕ СИСТЕМЫ И ЕЕ АРХИТЕКТУРА

Система шахтной стволовой сигнализации предназначена для организации безопасного спуска и подъема клетей с людьми и специальных сосудов с грузами на рудниках и в шахтах, в том числе опасных по газу и пыли и внезапным выбросам угля и газа. Система организует строгое согласование действий машиниста, рукоятчика и стволовых при управлении установкой подъема-спуска людей и грузов, при осмотрах и ремонтах ствола.

Для этого система обеспечивает:

- контроль состояния приствольных механизмов, положения сосуда в стволе, на горизонтах и приемной площадке, обнаружение напуска канатов;
- обработку и анализ текущей информации, обнаружение предаварийных и аварийных ситуаций, формирование предупредительных сигналов и сообщений;
- передачу команд управления перемещениями сосуда: вверх, вниз, тихо вверх, тихо вниз, стоп, аварийный стоп;
- передачу сигналов от датчиков положения околоствольных дверей, стопоров, посадочных кулаков;
- броское отображение сигналов и команд у рукоятчика и ствольных;
- отображение режимов работы: “Люди”, “Груз”, “Оборудование”, “Ревизия”;
- подачу звуковых сигналов;
- диагностику оборудования системы, проводных линий системы передачи данных и питания, а также неисправностей аппаратуры, связанных с безопасностью работы оборудования и системы управления подъемной установкой;
- хранение сообщений, информации о параметрах и состоянии оборудования в базе данных;
- отображение текущих и архивных данных в удобной для восприятия форме;
- резервирование за счет полного дублирования оборудования машинного отделения, приемной площадки и горизонтов грузо-людского ствола;
- громкоговорящую и телефонную связь между горизонтами, приемной площадкой и пультовой машиниста.

Исходя из требований надежности, система шахтной ствольной сигнализации строится как дублированная система (рис. 1) на двух комплектах аппаратно-программных средств, соединенных между собой информационными каналами. Один комплект используется в качестве рабочей и ремонтной сигнализации, второй образует “горячий” резерв. По функциональным возможностям оба комплекта полностью идентичны.

Система представляет собой распределенную систему контроля и управления, состоящую из набора устройств, связанных между собой каналами передачи информации по интерфейсам RS-485 и каналу оптической связи. Обмен информацией между блоками контроля и управления и блоками модулей ввода-вывода, находящимися на одном горизонте или приемной площадке, осуществляется по каналу CAN.

ОБОРУДОВАНИЕ КОМПЛЕКСА ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ

Комплекты аппаратуры машинного отделения состоят из персональных компьютеров, преобразователя интерфейсов RS-485/CAN, аппаратуры оптоволоконной линии связи, источника бесперебойного питания, пульта громкоговорящей связи. Преобразователь интерфейсов RS-485/CAN, включающий в свой состав повторитель интерфейсов RS-485, выполняет функцию искробезопасного барьера, ограничивающего электромагнитный занос во взрывоопасную среду ствола. Основное и резервное автоматизированные рабочие места (АРМ) машиниста включены в локальную вычислительную сеть Ethernet. В процессе работы системы базы данных дублируются на обоих АРМ.

Комплекты аппаратуры приемной площадки и горизонтов состоят из блока контроля и управления [18], блока модулей ввода-вывода, искробезопасного источника бесперебойного питания шахтного типа ИБПШ-02 [19], пульта системы громкоговорящей связи, аппаратуры оптического канала связи [20].

Для контроля напуска каната на сосуд устанавливаются датчики, фиксирующие останов сосуда. Если в момент останова машина работает на спуск, фиксируется предупредительный сигнал угрозы напуска каната. Сигнал передается через радиомодемы и далее по каналу RS-485 на монитор машиниста.

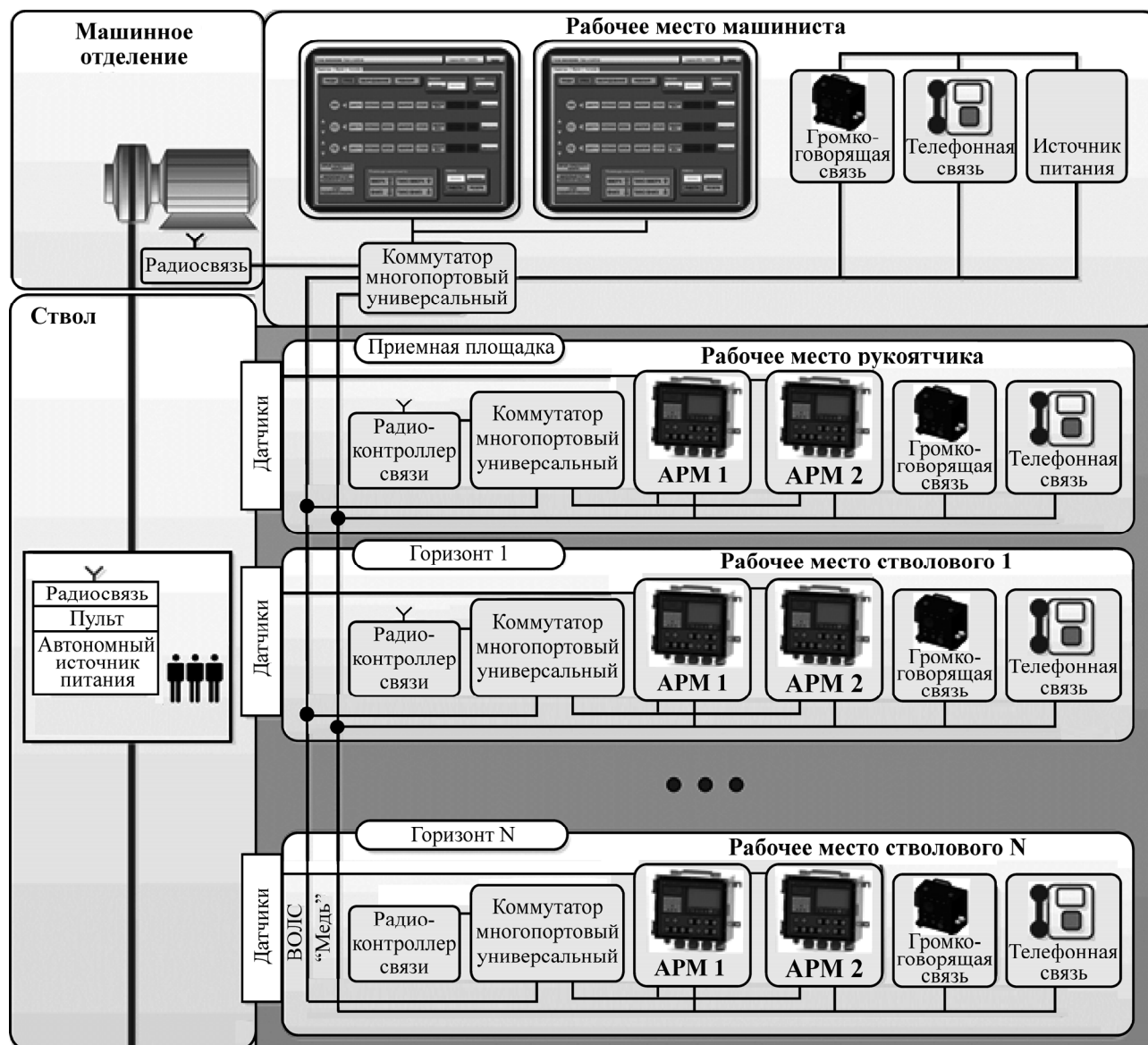


Рис. 1. Обобщенная архитектура стволовой сигнализации: ВОЛС — волоконно-оптическая линия связи; “Медь” — проводная линия связи

С помощью громкоговорящей и телефонной связи осуществляется производственная двухсторонняя связь в соответствии с требованиями правил безопасности. Из машинного отделения можно связаться с приемной площадкой ствола и с каждым горизонтом. Для контроля положения предохранительных дверей предусмотрено использование магнитогерконовых датчиков. Для обеспечения диагностики датчики дублированы.

Система позволяет произвести подачу сигналов “Стоп” и “Авария” непосредственно машинисту как с приемной площадки, так и с горизонтов. Запрещается передача других сигналов из околоствольного двора непосредственно машинисту, минуя рукоятчика. Алгоритм работы системы обеспечивается автоматически программным способом [21, 22].

Факт прихода подъемного сосуда на горизонт и приемную площадку, положение дверей, опорных кулаков и площадок определяются автоматически с помощью магнитогерконовых дублированных датчиков положения. Рабочие места рукоятчика и стволового по составу оборудования идентичны и отличаются только набором кнопок на блоках контроля и управления.

Функционально система образует два иерархических уровня. Верхний уровень включает аппаратно-программные средства пультовой машиниста, где интегрируются сигналы состояния и управления и откуда управляется непосредственно подъемная машина. Верхний уровень содержит двойной комплект оборудования, находящегося в “горячем” резерве: АРМ машиниста, блок модулей ввода/вывода, пульт громкоговорящей связи и источник бесперебойного питания.

На нижнем функциональном уровне находятся приемная площадка и горизонты, содержащие также двойной комплект оборудования: специализированный пульт управления, блок модулей ввода/вывода, пульт громкоговорящей связи и источник бесперебойного питания. Оборудование машинного отделения размещается на поверхности во взрывобезопасной зоне. Оборудование рукоятчика и стволовых работает во взрывоопасной среде и имеет соответствующее исполнение.

Интерфейс машиниста с системой представляет текущее состояние оборудования ствола, оборудование системы стволовой сигнализации и команды от рукоятчика. При изменении контролируемых параметров выводятся визуальные и звуковые предупреждения. Состояние опрашиваемых объектов отображается в виде различных видеокadres (мнемосхем) на экране монитора. Каждый видеокادر содержит постоянную часть (обрамление), одинаковую для всех, и переменную, зависящую от выбранного режима отображения. Мнемосхема интерфейса машиниста (рис. 2) фиксирует состояние стволовых механизмов, а также команды управления и диагностики, имеет индикатор режима работы из следующего набора: люди, груз, оборудование, ревизия.

Мнемосхема содержит элементы управления, позволяющие переключаться между режимами работы системы и квитировать аварийные сообщения. В нижней части экранного поля постоянно отображается фрагмент журнала событий, содержащий сведения о последних по времени событиях. Журнал событий включает следующие поля: дату и время регистрации события, идентификатор источника события, описание события, статус.

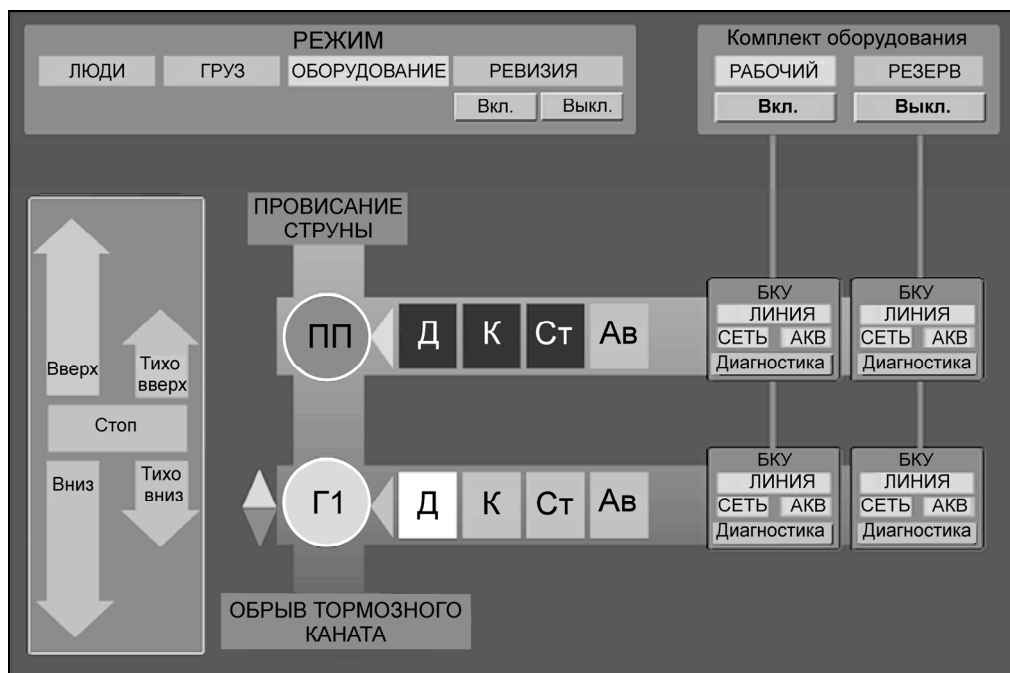


Рис. 2. Панель индикации машиниста: ПП — приемная площадка; Г1 — горизонт 1; БКУ — блок контроля и управления; АКБ — аккумуляторная батарея; Д — двери; К — кулаки; Ст — стоп; Ав — авария; СЕТЬ — наличие первичного питания ИБПШ-02

Интерфейсы рукоятчика и ствольного построены на базе графических изображений на экранах жидкокристаллических индикаторов мнемосхем технологического оборудования (рис. 3). Технологические объекты на такой мнемосхеме представлены в виде системы графических знаков. Сигналы состояния объектов отображаются с использованием буквенного и цветового кодирования.

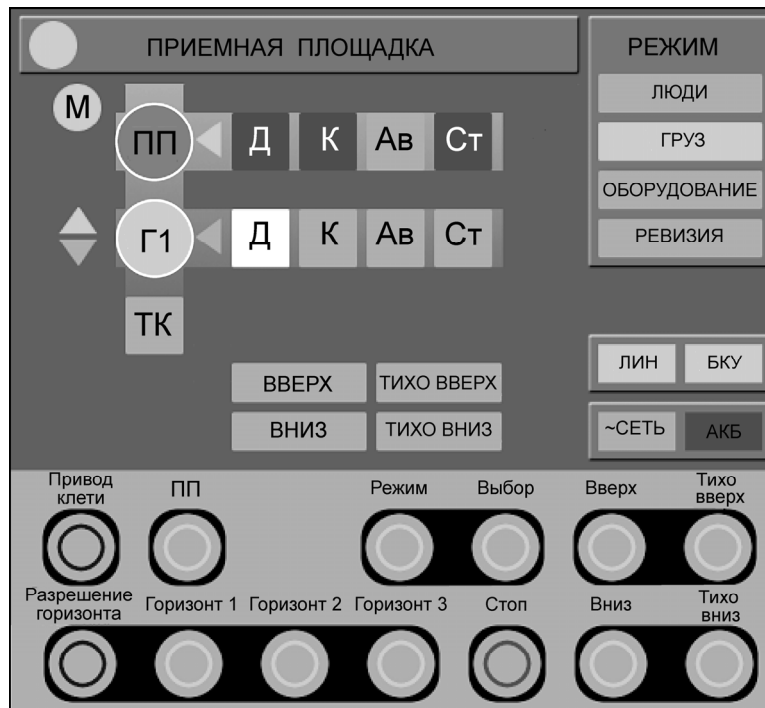


Рис. 3. Пульт управления рукоятчика: ЛИН — линия информационной связи; ТК — тормозной канат; М — двигатель подъемной машины

Кнопки управления операцией спуска-подъема находятся на передней панели пультов управления ствольного и рукоятчика (рис. 3). Мнемосимволы всех событий, препятствующих движению клетки, окрашиваются красным цветом. Зеленый цвет говорит о разрешенном действии и/или нормальном состоянии оборудования. Все операции, проводимые на пультах управления, сопровождаются кратковременным звуковым сигналом на всех рабочих местах.

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Одна из основных особенностей программного обеспечения системы шахтной ствольной сигнализации — гарантия достоверности картины состояния системы для всех участников технологического процесса. Поскольку окончательное решение о начале движения сосуда (клетки или грузового скипа) принимается человеком, то отображения состояния элементов системы на видеокadre АРМ машиниста, блоков управления рукоятчика или ствольных должны изменяться одновременно. В системе ствольной сигнализации роль центра принятия решений о смене состояний выполняет АРМ машиниста (основное или резервное), играющее роль сервера для остальных устройств системы и обладающее самым полным объемом информации для принятия решения. Таким образом, любое нажатие кнопки на пульте ствольных/рукоятчика или изменение состояния датчика сначала обрабатывается алгоритмами на сервере, а затем информация о новом состоянии системы транслируется с помощью широкоэвещательных пакетов остальным устройствам системы. Полная схема информационного обмена устройств в системе представлена на рис. 4.

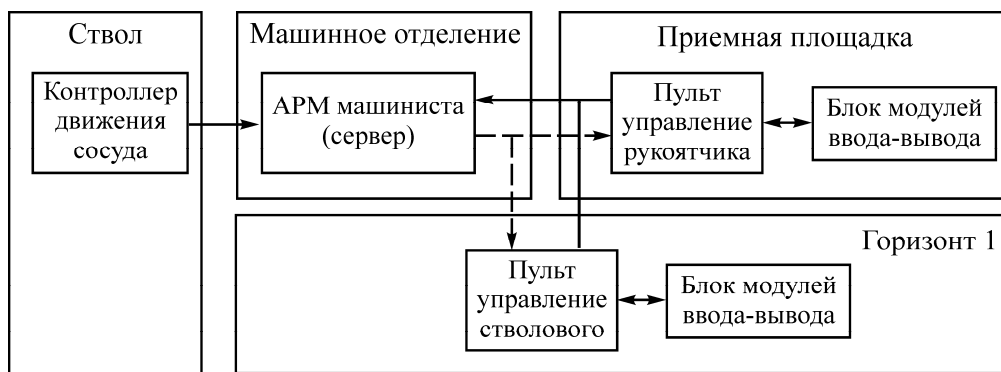


Рис. 4. Схема информационного обмена между устройствами шахтной стволовой сигнализации: —> опрос состояния отдельного устройства; - - -> запись состояния системы; <=> взаимодействие с модулями ввода-вывода

Необходимым критерием достоверности информации на видеокдрах является отображение состояния линий связи: если линии связи в норме, информация на видеокдрах достоверна. С другой стороны, если участник процесса дал неверную (согласно текущему состоянию системы) команду с пульта, то ее автоматически заблокирует сервер. Единый центр решает проблему синхронизации времени в системе для ведения протокола регистрации состояний датчиков и действий персонала. Цикл взаимодействия “событие – алгоритм на сервере – трансляция состояния системы” составляет около 0.1 с, что приемлемо для системы, где окончательное решение принимается человеком. Конфигурирование в процессе эксплуатации новых модулей ввода-вывода осуществляется автоматически с АРМ машиниста. Таким образом, АРМ машиниста — единственное место, в котором хранится конфигурация всей системы. Это снижает требования к квалификации эксплуатационного персонала и придает системе функцию масштабируемости, когда система может быть легко настроена под новый технологический объект.

Исходя из требований к системе, АРМ машиниста реализовано в среде микроядерной операционной системы реального времени QNX 4.25 с использованием графической оболочки Photon microGUI, что позволило достичь минимального времени реакции во взаимодействии АРМ машиниста с пультами управления и блоками ввода-вывода, а также обеспечило высокую общую надежность системы.

ВЫВОДЫ

Разработана и реализована система шахтной стволовой сигнализации, обладающая повышенными надежностью и безопасностью. Качество системы определяется архитектурными решениями, обеспечившими “горячее” резервирование. Контроллер и система сбора данных собственной разработки имеют гибкую структуру, позволяющую адаптировать схемные решения под задачу. Сигнальные интерфейсы и протоколы обмена оптимизированы для обеспечения надежности и скорости обмена. Человеко-машинный интерфейс создает для персонала комфортную рабочую среду с жестким контролем дисциплины управления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Цыганков Д. А.** Анализ аварийности горных работ при подземной добыче угля // ГИАБ. — 2016. — № 3. — С. 358–365.
2. **Мясников С. В.** Состояние промышленной безопасности и организация контроля в угольной промышленности // Безопасность труда в пром-сти. — 2015. — № 6. — С. 9–14.
3. **Аксенов Г. И., Филатов Ю. М., Ли Хи Ун, Рыков А. М.** Производственный травматизм на шахтах Прокопьевско-Киселевского угольного месторождения // Горн. пром-сть. — 2008. — № 4. — С. 50–53.

4. **Хорошилов А. В., Тараканов А. В.** Основные причины травматизма на шахтах Кузбасса в конце XX – начале XXI в. // Вестн. КумГУ. — 2010. — № 3 (43). — С. 215–218.
5. **Скрицкий В. А.** Аварии на шахтах Кузбасса: некоторые причины их возникновения // Горн. пром-сть. — 2007. — № 5. — С. 54–55.
6. **Голушко С. К., Меркулов И. В., Михальцов Э. Г., Чейдо Г. П., Шакиров Р. А., Шакиров С. Р.** Индустриальные информационно-управляющие системы: от проектирования и разработки до практической реализации // Вычисл. технологии. — 2013. — Т. 18. — Спец. вып. — С. 4–11.
7. **Бабин С. А., Голушко С. К., Цыба А. М., Чейдо Г. П., Шелемба И. С., Шакиров С. Р.** Концепция многофункциональной системы безопасности угольных шахт с использованием волоконно-оптических технологий // Вычисл. технологии. — 2013. — Т. 18. — Спец. вып. — С. 95–100.
8. **Федеральные нормы** и правила в области промышленной безопасности “Правила безопасности в угольных шахтах”. Сер. 05. Документы по безопасности, надзорной и разрешительной деятельности в угольной промышленности. Вып. 40. — М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2014. — 200 с.
9. **Барбашин Д. И.** Повышение надежности управляющих систем при проектировании // Наука и техника в современном мире: материалы междунар. науч.-практ. конф. — Новосибирск: Априори, 2011. — С. 37–40.
10. **Барбашин Д. И.** Разработка математических моделей и алгоритмов для автоматизированного проектирования передних панелей информационно-измерительных систем // Измерения, контроль и диагностика: докл. I Всерос. науч. конф. — Ижевск: Проект, 2010.
11. **Курзанцева Л. И.** Разработка адаптивного человеко-машинного интерфейса с использованием множества критериев оценки его качества // Управляющие системы и машины. — 2011. — № 6. — С. 46–51.
12. **Ходаков В. Е., Ходаков Д. В.** Адаптивный пользовательский интерфейс: проблемы построения // Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы. — 2003. — № 1 (11). — С. 12–19.
13. **Безопасность** угольных шахт: человеческий фактор. — Новокузнецк: КемГУ, 2014. — 466 с.
14. **Аппаратура** шахтной стволовой сигнализации и связи вертикальных подъемных установок ШСС-1 / <http://kemz.konotop.biz/?p=169>
15. **Система** шахтной автоматики, стволовой сигнализации и связи “ШАСС Микон” / <http://www.ingortech.ru/produksiya/statsionarnye-sistemy/avtomatizatsiya-shakht-i-rudnikov/shakhtnaya-stvolovaya-signalizatsiya>
16. **Аппаратура** шахтной стволовой сигнализации микропроцессорная МАСС / http://igea.by/productcard?source=1386333750_apparatura_signalizatsii_mass.pdf&task=downloadpdf
17. **Искробезопасная система** стволового сообщения и сигнализации MDJ-100 / <http://www.mdj.pl/pdf/rus/MDJ100.pdf>
18. **Гусев О. З., Колодей В. В., Мамаев А. С., Михальцов Э. Г., Шакиров С. Р.** Блок контроля и управления для работы в условиях опасного производства // Пат. на полезную модель № 133951 РФ, приоритет 5 июня 2013 г., зарегистрирован в Госреестре полезных моделей РФ 27 октября 2013 г.
19. **Григорьев В. А., Журавлев С. С., Зензин А. С., Колодей В. В., Михальцов Э. Г.** Источник бесперебойного электропитания шахтный // Пат. на полезную модель № 86360 РФ, приоритет 13 апреля 2009 г., зарегистрирован в Госреестре полезных моделей РФ 27 августа 2009 г.
20. **Гаркуша В. В., Мишнев А. С., Хорошенко Е. И., Яковлев В. В.** Коммутатор многопортовый универсальный для работы в условиях пожаро- и взрывоопасных производств и на объектах с особо тяжелыми условиями эксплуатации // Пат. на полезную модель № 149839 РФ, приоритет 12 августа 2014 г., зарегистрирован в Госреестре полезных моделей РФ 20 января 2015 г.
21. **Шевченко Д. О.** Программа управления шахтной стволовой сигнализацией // Свидетельство о государственной регистрации программ № 2014615136 от 20.05.2014 г.
22. **Смолин Д. О., Чейдо Г. П., Колодей В. В., Шакиров С. Р.** Программа сбора и передачи данных блоком контроля и управления шахтной стволовой сигнализации // Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2014619464 в Реестре программ для ЭВМ 17.05.2014 г.

Поступила в редакцию 21/IV 2017