

УДК 622.862.3: 004.42

Булат А.Ф., акад. НАНУ, д-р техн. наук, професор,
Слащев И.Н., канд. техн. наук, ст. науч. сотр.
(ИГТМ НАН Украины)
Иконникова Н.А., канд. техн. наук, доцент
(ГВУЗ «НГУ»)

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ УДАЛЕННОГО КОНТРОЛЯ БЕЗОПАСНОСТИ ШАХТ

Булат А.Ф., акад. НАНУ, д-р техн. наук, професор,
Слащов І.М., канд. техн. наук, ст. наук. співр.
(ІГТМ НАН України)
Іконнікова Н.А., канд. техн. наук, доцент
(ДВНЗ «НГУ»)

ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ СИСТЕМ ВІДДАЛЕНОГО КОНТРОЛЮ БЕЗПЕКИ ШАХТ

Bulat A.F., Acad. NASU, D. Sc. (Tech.), Professor,
Slashchov I.N., Ph.D. (Tech.), Senior Researcher
(IGTM NAS of Ukraine)
Ikonnikova N.A., Ph.D. (Tech.), Associate Professor
(SHEI «NMU»)

PRINCIPLES FOR THE DEVELOPMENT OF REMOTE CONTROL SYSTEMS OF THE MINE SAFETY

Аннотация. В статье отражены основные принципы и приведены схемы построения систем контроля безопасности шахт с применением технологий удаленного доступа. Показано, что разработка систем удаленного контроля безопасности шахт представляет собой сложную, но решаемую проблему, которая включает комплекс теоретических и практических задач по разработке и объединению не только разных программных пакетов, но и разных методологий получения и обработки первичной информации. Комплекс предложенных решений по компоновке системы контроля безопасности позволяет соединить в одном экспертном центре: получение и анализ информативных параметров мониторинга среды от различных автоматизированных систем, методы прогноза и алгоритмы оценки сценариев развития событий, современные методы управления рисками. Для системы контроля безопасности шахт определена структура программных классов цифровой трехмерной модели и разработан универсальный микропроцессорный блок оцифровки входящих сигналов, позволяющий производить контроль геотехнических систем в режиме реального времени.

Ключевые слова: безопасность горных работ, автоматизированные системы, визуализация трехмерных моделей, контроль геотехнических систем.

Повышение эффективности горного производства влечет за собой рост темпов ведения горных работ, что особенно остро ставит вопросы безопасности труда горняков.

Для повышения уровня безопасности шахт разработаны и внедряются в производство новые методы мониторинга породного массива и автоматизированные системы сбора и обработки первичной информации.

Вместе с тем, значительный объем первичной информации, поступающей от существующих систем мониторинга производственной среды, как показывает практика, недостаточен для обеспечения необходимой безопасности шахт.

В течение последних лет сделан значительный шаг в совершенствовании способов и средств контроля аэрогазового режима шахт, технологических параметров и напряженного состояния породного массива. В частности: системы «АПСС-1» и «ЗУА-98» прогноза выбросоопасности пластов на базе акустических методов; телекоммуникационная система диспетчерского и автоматизированного управления горными машинами и комплексами «УТАС» (унифицированная телекоммуникационная автоматизированная система, разработана по лицензии «Continental Conveyor Ltd»), обеспечивает непрерывные измерения параметров состояния промышленных и горно-технологических объектов; автоматизированная система противоаварийной защиты шахт «АСПАЗШ», (разработаны только опытные образцы аппаратуры противопожарного контроля «ППК», системы контроля подачи воздуха и температурных режимов в выработках шахт «СКПТ»); аппаратно-программная система «КАГИ», включающая комплекс «Метан», метановые реле и аппаратуру автоматического контроля расхода воздуха в очистных забоях, обрабатывает и передает диспетчеру информацию об аэрогазовой обстановке в горных выработках; система «АЛЕРТ», выполняющая классификацию текущего состояния безопасности шахты, автоматическое извещение о предаварийном и аварийном состояниях; сейсмоакустическая аппаратура «АРИС» для выявления зон опасности впереди забоя и другие системы [1-4]. Информативные параметры горнотехнических объектов служат как для принятия решений персоналом, так и для автоматического контроля этими системами средств управления газовой средой и вентиляцией.

Одной из наиболее проверенных и надежных систем считается система «УТАС», которая включает объединенный в целостный комплекс датчиков, систему передачи данных и электронно-аппаратную составляющую [4]. Система «УТАС» выполняет следующие функции: индикацию текущих значений контролируемых объектов; визуальную предупредительную сигнализацию предаварийного состояния (оборудования); визуальную и звуковую аварийную сигнализацию о достижении предельно допустимых уровней параметров (показателей) или аварийного состояния; сигнализацию о предельных положениях деталей машин и механизмов; включение объектов в работу по команде диспетчера и их технологическую остановку; передачу, прием, отображение, регистрацию и накопление поступающей информации от составных частей системы; предоставление диспетчеру информации о состоянии контролируемого объекта с использованием четырех типов сигналов (режим проверки, нормальная работа, предаварийное состояние, аварийное

состояние). Несмотря на то, что в системе «УТАС» широко представлены вопросы контроля аэрогазового режима и диагностики технологического оборудования, методы контроля состояния и управления геотехнической системой «крепь-массив» фактически не применяются. Данные мониторинга геомеханических процессов используются мало вследствие разнообразия, сложности, слабой прогнозируемости и недостаточной изученности поведения горных пород под действием техногенных нагрузок.

Кардинально улучшить сложившуюся ситуацию может применение опыта, накопленного в нефтедобывающей промышленности, атомной энергетике и космической отрасли, который показал, что наиболее эффективным является использование экспертных систем контроля безопасности. Такие системы, в отличие от применяемых на горных предприятиях, объединяют в едином центре методы обработки информативных параметров существующих автоматических систем диагностики состояния объекта и защит в режиме реального времени, методы многоступенчатого контроля процессов с выделением обобщенных показателей безопасности, методы прогнозирования процессов с привлечением баз знаний и моделей, а также методы оценки сценариев развития аварийных ситуаций. Для горнодобывающих предприятий сосредоточение и обобщение информации от всех имеющихся подсистем управления горнотехническими процессами целесообразно проводить на базе систем автоматизированного контроля безопасности с применением информационных технологий удаленного доступа.

Понятие термина «технология удаленного доступа» определено в Стандарте NIST SP 800-53 [5] американского национального института стандартов и технологий (National Institute of Standards and Technology, NIST) для применения в правительственных информационных системах (код 800 присваивается рекомендациям «Special Publications, SP» регламентирующим область информационной безопасности). «Рекомендуемые средства контроля безопасности для федеральных информационных систем и организаций» (Recommended Security Controls for Federal Information Systems and Organizations) – это один из наборов стандартов США, выпущенных одним из наиболее динамичных институтов стандартизации в области информационных технологий – лабораторией информационных систем (Innovative Technology Ltd, ITL). Согласно документу NIST SP 800-53 технологии удаленного доступа – это технологии, обеспечивающие любой доступ (коммутируемый доступ, широкополосный доступ и беспроводную связь) к организационной информационной системе пользователю (или процессу, действующему от имени пользователя) и осуществляющие связь через внешнюю сеть (например, Интернет). Элементы технологии удаленного доступа применимы к информационным системам, отличным от общедоступных веб-серверов или систем, специально предназначенных для открытого доступа. В отличие от технологий удаленного доступа сеть считается внутренней, если соединение между контролируруемыми конечными точками не зависит от внешних сетей для

защиты конфиденциальности или целостности информации. Одним из основных признаков технологии удаленного доступа является использование сервера и сервисов удаленного доступа RAS (Remote Access Services), которые позволяют приложениям устанавливать удаленные соединения. Удаленные соединения могут использовать протоколы PPP (Point-to-Point Protocol) или SLIP (Serial Line Internet Protocol). Сервис RAS обеспечивает протоколы PPP аутентификации (PAP, CHAP) и протоколы конфигурирования сети (LCP, IPCP и др.). Когда соединение уже установлено, программные приложения могут использовать стандартные сетевые интерфейсы Windows Sockets, Named Pipes, NetBIOS. Протокол TCP/IP на основе PPP используется наиболее часто для связи мобильных пользователей.

Современная автоматизированная система контроля безопасности шахт должна обеспечивать функции: получения диспетчером информации о ходе технологических процессов, состоянии оборудования и появлении опасных ситуаций на контролируемых объектах, в том числе и в режиме реального времени; оперативного вмешательства в работу оборудования при возникновении нештатных и аварийных ситуаций; контроля прохождения управляющих команд и подачу предупредительных сигналов; анализа работы объектов; дистанционной настройки и диагностирования контроллеров; ведения отчетных документов и журналов действий в аварийных ситуациях и пр. В перспективе предполагается включение в автоматизированные системы средств передвижного мониторинга состояния предвестников аварий на базе технопарка интеллектуализированных мобильных робототехнических устройств [6]. Поэтому даже стандартная система горного мониторинга и контроля безопасности представляет собой сложный аппаратно-программный комплекс, который включает: сеть датчиков, цифровых телеметрических каналов связи, серверы для хранения получаемой информации, а также программное обеспечение для обнаружения и обработки поступающих сигналов, реализующее методы и алгоритмы оценки безопасности ведения горных работ.

Основным препятствием эффективного комплексного использования систем управления горными процессами является недостаточная согласованность способов анализа информативных параметров мониторинга среды различных автоматизированных систем, отсутствие алгоритмов оценки текущей ситуации и сценариев развития событий, а также определения уровней опасности и рисков. Поэтому основной научной проблемой при создании аппаратно-программной архитектуры систем удаленного контроля безопасности шахт является систематизация комплекса информативных параметров подземных выработок и нарушенной горными работами геологической среды, разработка методологии и синтез алгоритмов оценки, прогноза и сценариев развития геомеханических и технологических процессов.

Программная часть промышленной системы контроля шахты представляет собой набор пакетов прикладных программ, которые предназначены для

прогнозирования процессов специализированными моделями, выполнения расчетов интегральных критериев уровней опасности и сценариев наиболее вероятного развития событий, а также манипулирования базами знаний. Система оперирует моделями ситуаций и сценариями развития событий на основе глубокого, в том числе и интеллектуального машинного анализа имеющихся данных по существу решаемого вопроса. Интеллектуальный анализ данных базируется на совокупности методов, основанных на применении эволюционного программирования, генетических алгоритмов, корреляционного и регрессионного анализа и др., позволяющих получить новые полезные для практики знания. Такая технология анализа больших объемов информации позволяет оперативно принимать объективные экспертные решения в условиях дефицита времени и недопустимости серьезных ошибок.

Центр управления системы удаленного контроля безопасности шахты строится в виде операционного зала, оснащенного системой экранов и средств воспроизведения визуальной информации и звука, рис. 1. В состав типовой экспертной системы включаются: автоматизированные рабочие места с пакетом специальных программ, обеспечивающих визуализацию цифровой трехмерной модели шахты мультимедийными средствами; защищенные от сбоев и перегрузок системы специальной и телефонной связи для передачи данных от контролируемых объектов в центр управления и гарантирующие доставку информации в режиме чрезвычайной ситуации; система защиты информации; расчетно-аналитический сервер.

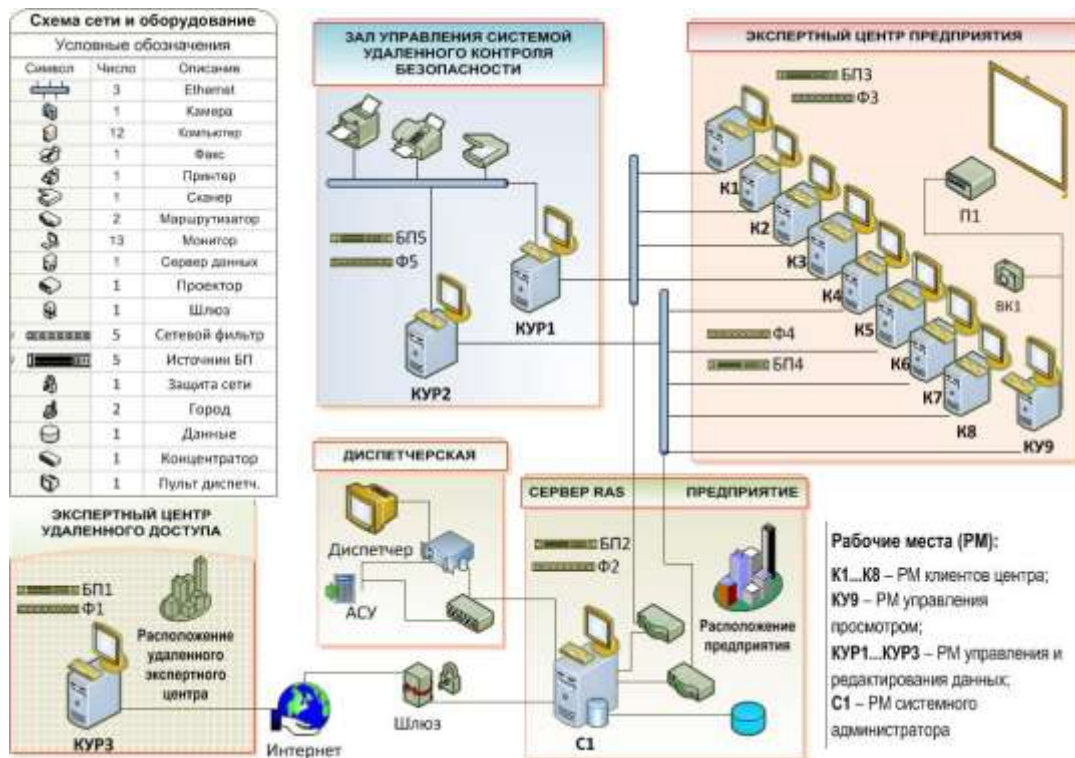


Рисунок 1 – Схема экспертного центра принятия оперативных решений по безопасности шахт с использованием технологий удаленного доступа

Центр функционирует в трех основных режимах: мониторинга (выполняется фиксация неожиданных всплесков или провалов показателей); плановый (выполняется фиксация решений, экспертный анализ, разработка программ решения задач); кризисный режим – задействованы все технологические возможности центра, при этом оперативно собираются и обрабатываются большие массивы разнородной информации, происходит моделирование ситуации и на этой основе экспертами предлагаются варианты решения проблемы. Центр позволяет не только принять решение, но и смоделировать и спрогнозировать сценарии развития ситуации.

Основной этап построения системы безопасности состоит в анализе, систематизации и взаимном согласовании информативных параметров диспетчерской и автоматических систем мониторинга состояния горного массива, и включает:

- сбор, анализ и обобщение геологической, геофизической и технологической информации: особенностей геологического строения, наличия тектонических нарушений, зон повышенного горного давления, трещиноватости и др.;

- выявление и систематизацию опасных факторов, которые классифицируют по источникам их возникновения: от породного массива (обрушения, внезапные выбросы, затопления и др.), от внутришахтной среды (загазованность, скопление пыли, пожароопасность и др.), от нештатной работы технологического оборудования (отказы систем жизнеобеспечения, включая системы подачи воздуха, электроэнергии, откачки воды, поломки транспортных средств и др.), от персонала (недостаточная квалификация, усталость, здоровье и др.);

- анализ и систематизацию информации, снимаемой с датчиков диспетчерской и других автоматизированных систем мониторинга: об атмосфере в горных выработках (влажности, скорости движения воздуха, газов CH_4 , O_2 , CO , CO_2 , ...), о состоянии породного массива (напряжениях, сейсмоакустической эмиссии...); о работе горнотехнического оборудования и др.;

- унификацию способов фиксации сигналов опасности о выбросах породы, угля, газа, прорывах воды, взрывах пыли, пожарах и других возможных аварийных ситуациях, вырабатываемых системами контроля;

- выбор комплекса оптимальных информативных параметров и формирование перечня исходных данных для аппаратно-программной архитектуры центра по повышению уровня безопасности шахты.

Центр контроля безопасности обеспечивает в оперативном режиме мониторинг параметров полуавтоматических систем сбора первичной информации о состоянии шахты, оценку ее текущего уровня безопасности, поддержку работы антиаварийного штаба, выработку превентивных мер по повышению уровня безопасности, анализ использования персонала и его подготовку к чрезвычайным ситуациям. Важнейшими преимуществами

предлагаемой системы являются: оптимизация принимаемых решений путем моделирования и экспертной оценки ситуаций с помощью современных информационных технологий; повышение качества анализа информации и выработки решения за счет интеграции средств связи, аналитической обработки и визуализации информации; обеспечение оперативного доступа к достоверной и полной информации по проблеме для принимающих решения руководителей.

Сигналы систем контроля поступают через блок оцифровки на вход сервера системы контроля безопасности, рис. 2.

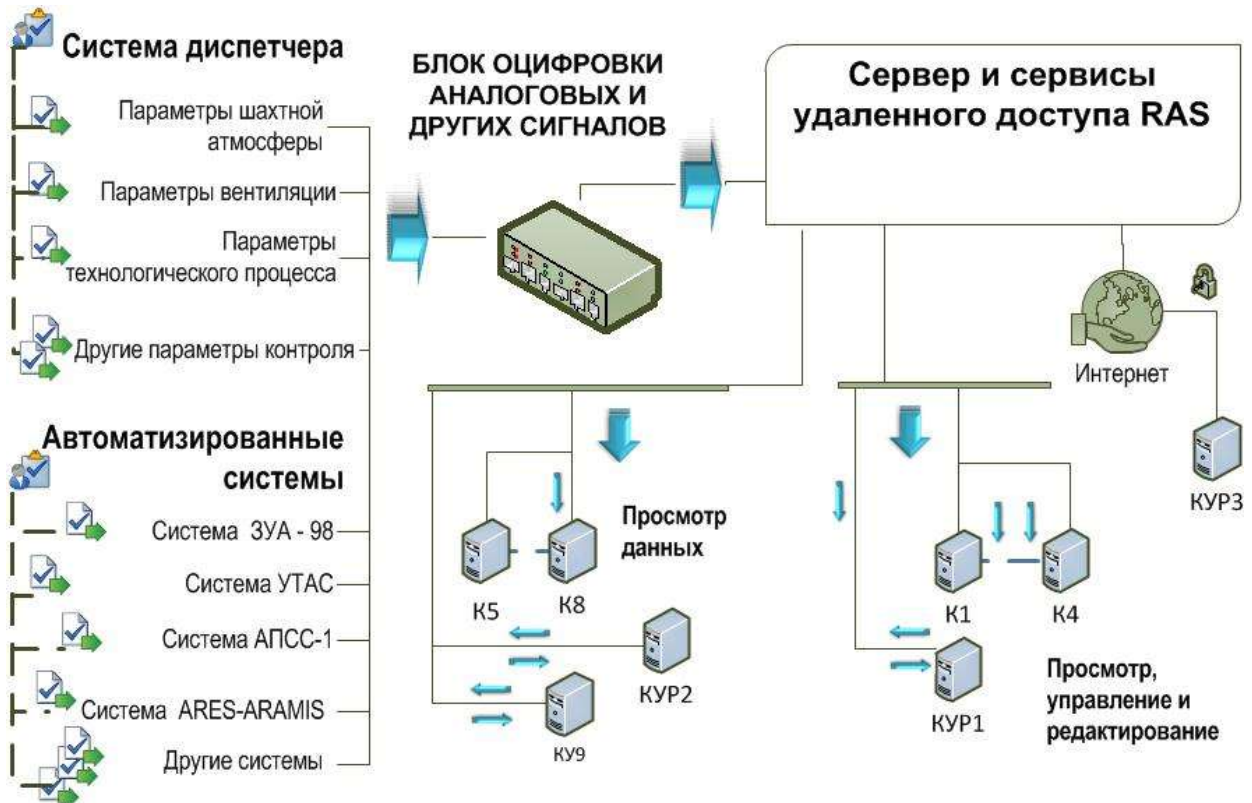


Рисунок 2 – Функциональная схема системы удаленного контроля безопасности шахт с применением технологий удаленного доступа

Интегрированная база данных предназначена для хранения информации, которая загружается с определенной периодичностью от систем мониторинга шахты для анализа и поддержки принятия решений. Она не использует ресурсы транзакционной системы и не нарушает ее стабильность. Сервер содержит программы локальных моделей состояния объектов и среды, моделей ситуаций и алгоритмы формирования параметров системы. Геомеханические модели необходимы для расчетов методами математического моделирования трансформаций напряженно-деформированного состояния породного массива с учетом его структуры и особенностей деформирования геологической среды, а также прогнозной оценки и сценариев развития опасных процессов [1, 3, 7, 8]. Локальные модели унифицируются до простых схем с четкими инструкциями и полной автоматизацией процессов ввода исходных данных и обработки

получаемой информации. Модели ситуаций предназначены для прогноза распространения газов и разрушений выработок от очага аварии, путей выхода людей и др. Программа формирования параметров системы служит для анализа взаимосвязей между процессами и событиями, вычисления интегральных параметров и коэффициентов, подготовки данных для отображения на цифровой модели шахты.

Одна из важных особенностей методов анализа данных состоит в наглядном представлении результатов вычислений, что позволяет вывести на экран коллективного пользования информационный поток в удобном для восприятия экспертами виде и использовать систему людьми, не имеющими специальной математической подготовки. При разработке системы контроля безопасности, в первую очередь, производится создание цифровой трехмерной модели предприятия высокой точности, которая включает базы геологических и других исходных данных и служит макетом для наложения всех элементов системы безопасности, сценариев развития чрезвычайных ситуаций и схем выхода из них. Модель представляет собой объемное изображение геологического и тектонического строения породного массива с проведенными в нем горными выработками и обозначением местоположения датчиков мониторинга. Содержит три основных элемента: модель геологии породного массива (структуры, геологических нарушений, выклиниваний пластов и др.); модель горных выработок с обозначениями критерия опасности для каждого участка выработок; модель установки элементов контроля породного массива и внутришахтной среды (датчиков контроля: метана, вредных газов, сейсмической и акустической активности), рис. 3.

Система контроля безопасности также включает программные информационные системы, которые реализуют следующие методы и алгоритмы:

1) обработки и анализа оперативных событий:

- спектрального анализа акустических данных;
- приведения входных данных к одному формату;
- формирования целевой функции расчета локальных и интегральных показателей безопасности (построение взаимосвязей «параметры технологии-опасный фактор-уровень безопасности»);
- систематизации интегральных информативных параметров признаков опасности производственной среды;

2) оценки и прогноза ситуаций моделированием процессов:

- локальных геомеханических моделей состояния объектов (горных пород, крепи выработок);
- моделей оценки локальных уровней опасности и рисков от геомеханических факторов;
- моделей путей выхода людей при аварийных ситуациях;
- моделей прогноза распространения от очагов аварии газов, разрушений и других факторов с отображением данных на цифровой модели;

- моделей оценки эффективности предполагаемых мероприятий по повышению уровня безопасности;
- 3) обучения и тренингов персонала.

1. МОДЕЛЬ ГЕОЛОГИИ ПОРОДНОГО МАССИВА

Программы и классы:

формирование данных для трехмерной модели породного массива

- вычисление координат скелета структуры породного массива
- вычисление координат тектонических нарушений
- формирование массивов для функций DirectX Graphics

визуализации трехмерной модели геологии породного массива

- объединение и парсинг данных для отображения информации
- элементы управления цепочками и группами данных

редактор геологических данных

- инструменты для редактирования геологических данных
- инструменты для чтения и сохранения геологических данных

Базы данных:

программа управления базами данных

- инструменты для редактирования баз данных

базы геологических данных (по геологоразведочным скважинам и выработкам)

- координат структуры залегания пластов
- физико-механических свойств пород
- тектонических нарушений
- водоносных горизонтов

2. МОДЕЛЬ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

Программы и классы:

формирования данных для модели горных выработок

- вычисление общего массива координат участков выработок

визуализации трехмерной модели горных выработок

- объединение данных в трехмерную модель
- элементы управления отображением горных выработок

Базы данных:

базы горных выработок

- координат участков горных выработок
- горных выработок по назначению (индексированные)

3. МОДЕЛЬ УСТАНОВКИ ЭЛЕМЕНТОВ КОНТРОЛЯ

Программы и классы:

формирования данных для модели

- вычисление общего массива координат точек контроля

визуализации модели установки элементов контроля

- объединение данных в трехмерную модель
- элементы управления отображением элементов контроля

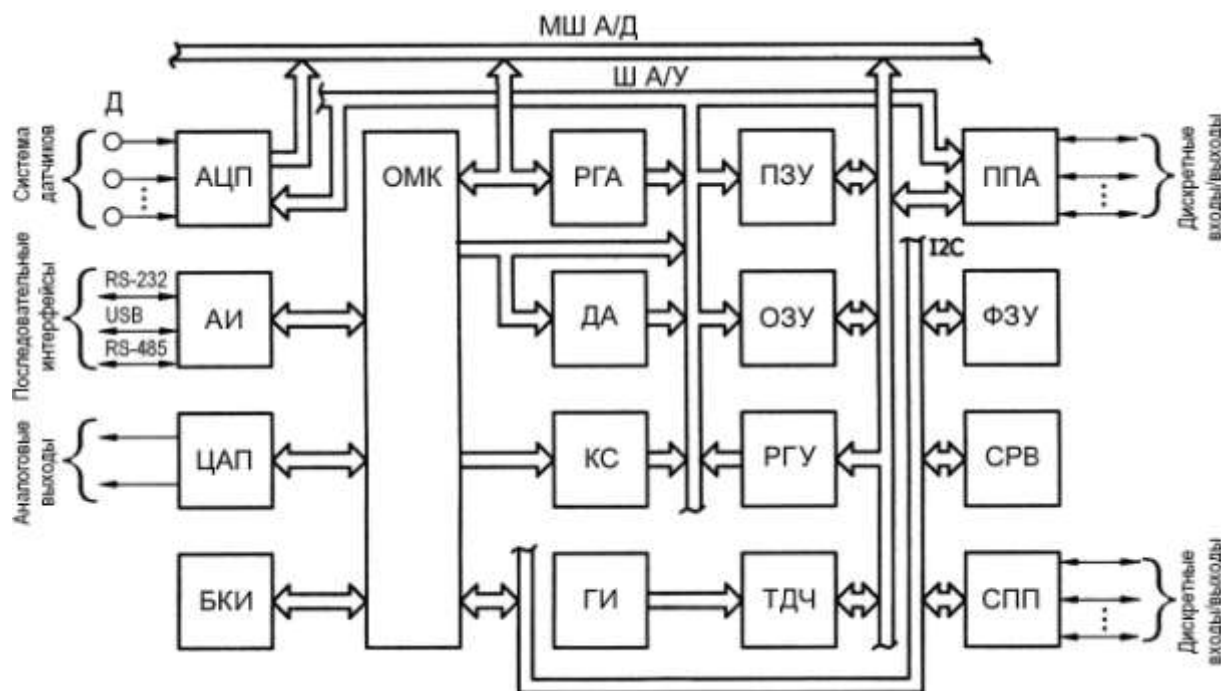
Рисунок 3 – Функции программного обеспечения цифровой трехмерной модели экспертного центра системы контроля безопасности шахты

Блок оцифровки на входе сервера системы предназначен для обработки в режиме реального времени всего потока информации о состоянии и событиях подсистем шахты. Разработан универсальный микропроцессорный блок оцифровки входящих сигналов, позволяющий производить контроль геотехнических систем в режиме реального времени, рис. 4. Управление и диспетчеризация обмена данными между подсистемами устройства возлагается на центральный процессорный элемент – однокристальный микроконтроллер (ОМК). Предло-

жено использовать ОМК общего назначения семейства MCS-51/52, что позволяет достичь рекордной вычислительной производительности для однокристалльных микроконтроллеров – 25...100 MIPS (средняя производительность в зависимости от структуры программы достигает 10...30 MIPS). Возможно также применение других скоростных версий микроконтроллера.

Подсистему памяти составляют постоянное (ПЗУ) и оперативное (ОЗУ) запоминающие устройства с общим адресным пространством, что позволяет выполнять эмуляцию памяти программ. Особенностью предложенной схемы является сохранение системы прерываний, как в рабочем режиме, так и в режиме эмуляции, для чего на время загрузки программы из компьютера в оперативной памяти формируются временные векторы прерываний, которые в дальнейшем заменяются данными пользователя.

Подсистема ввода/вывода аналоговых сигналов состоит из восьмиканального аналого-цифрового преобразователя (АЦП) параллельного типа и двух одноканальных цифро-аналоговых преобразователей (ЦАП) с последовательным интерфейсом обмена данными.



АИ – адаптер интерфейсов; АЦП – аналого-цифровой преобразователь; БКИ – блок клавиатуры и индикации; ГИ – генератор импульсов; Д – датчики; ДА – дешифратор адреса; КС – комбинационная схема; МШ А/Д – мультиплексная шина адреса/данных; ОЗУ – оперативное запоминающее устройство; ОМК – однокристалльный микроконтроллер; ППА – программируемый параллельный адаптер; РГА – регистр-фиксатор адреса; РГУ – регистр сигналов управления; СПП – статические параллельные порты; СРВ – система реального времени; ТДЧ – таймер/делитель частоты; ФЗУ – запоминающее устройство флеш-типа; ЦАП – цифро-аналоговый преобразователь; Ш А/У – шина адреса/управления.

Рисунок 4 – Функциональная схема универсального микропроцессорного блока оцифровки поступающих сигналов для автоматизированной системы контроля и управления

Блок последовательного интерфейса (БПИ) осуществляет преобразование USB-данных из последовательного кода в параллельный и наоборот, а также генерирует (для выходного потока данных) и проверяет (для потока входных данных) контрольные коды. Одна из основных функций блока логики (БЛ) заключается в разделении входного сигнала на последовательности тактовых импульсов и импульсов данных. Блок обработки протокола USB нижнего уровня (БОП) формирует ответы на запросы ведущего контроллера (компьютера, к которому присоединено устройство), и управляет режимом работы универсального асинхронного приемопередатчика (УАПП).

Недостатком большинства устройств оперативного контроля (в том числе цифровых и микропроцессорных), представленных на рынке Украины, является постоянство алгоритмов их работы. То есть, устройство, которое определяет, например, количество и максимальную амплитуду всплесков импульсного технологического сигнала не способно обрабатывать другие алгоритмы обработки сигналов без схемотехнических изменений или перепрограммирования с использованием специальных технических средств. Вместе с тем, для удаленного доступа в системах контроля безопасности необходимо применение методов дистанционной модернизации и обновления программного обеспечения. Предложенное устройство полностью удовлетворяет этим требованиям. В устройстве использован центральный микроконтроллер с режимом внутрисхемного программирования (ISP). Линии ISP-интерфейса выведены на внешнюю панель. Для перепрограммирования необходимо только соединить устройство с персональной ЭВМ и запустить программу-загрузчик с обновленной версией программного обеспечения. Установка новых версий программ может быть проведена удаленно по электронной почте или через сервисы Интернета.

Предложенное устройство может использоваться как программируемый логический контроллер для автоматизации общепромышленных установок и технологических комплексов. По функциональным возможностям аппаратной части устройство не уступает зарубежным образцам, например, контроллерам нижнего уровня Siemens, Allen Bradley, Schneider Electric, ПК «Пролог», и др. Дальнейшее улучшение функциональных возможностей устройства возможно путем уточнения математических моделей физических процессов в контролируемых объектах с разработкой нового алгоритмического и программного обеспечения.

Таким образом, в результате проведенных исследований определены основные принципы и разработаны схемы построения систем контроля безопасности шахт с применением технологий удаленного доступа. Предложены подходы, которые учитывают специфику горного производства и представляют собой комплекс решений по компоновке системы контроля безопасности, что позволяет соединить в одном экспертном центре: получение и анализ информативных параметров мониторинга среды от различных автоматизированных систем, методы прогноза и алгоритмы оценки сценариев развития событий, современные методы управления рисками. Для системы контроля безопасности шахт

определена структура программных классов цифровой трехмерной модели. Предложена функциональная схема многоканального микропроцессорного устройства автоматизированного контроля параметров технологических процессов для сложных нелинейных геотехнических систем. Универсальность устройства обеспечивается возможностью программной перенастройки на новые вычислительные алгоритмы, развитыми коммуникационными возможностями и наличием встроенных периферийных устройств. Выполнена практическая апробация устройства в лабораторных и натуральных условиях. Разработка новых элементов систем контроля безопасности позволяет внедрить современные методы управления рисками, научно обосновать технические и организационные мероприятия, которые обеспечат повышение безопасности шахт.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Шевченко, В.Г. Обоснование параметров и разработка информационной системы безопасности ведения подземных горных работ с учетом геомеханических факторов / В.Г. Шевченко, А.И. Слащев / Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр. / ИГТМ НАН Украины. – Днепр, 2016. – Вып. 128. – С. 70-78. (на англ.)
2. Системы безопасности шахт Украины, их возможности и перспективы / Ю.И. Шульга, В.Г. Здановский, Н.В. Кривцов, Н.В. Игнатович // Проблеми охорони праці в Україні: Збірник наукових праць. – К.: ННДІПБОП, 2010. – Вип. 18. – С. 3–11.
3. Слащев, И.Н. Оптимизация информационной системы оперативного прогноза геомеханических процессов для поддержки принятия решений по безопасности шахт / И.Н. Слащев, В.Г. Шевченко, А.И. Слащев // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр. / ИГТМ НАН Украины. – Днепропетровск, 2013. – Вып. 112. – С. 129-144.
4. Дердін, О. Система «УТАС» – презумпція безальтернативності / О. Дердін // Все про охорону праці. – 2009. - №10. – С. 2-9.
5. National Institute of Standards and Technology Special Publication 800-53, Revision 5 Natl. Inst. Stand. Technol. Spec. Publ. 800-53, Rev. 5, 494 pages (August 2017).
6. Писаренко, В.Г. Робототехнические системы с интеллектуальными сенсорами и многопроцессорными имитаторами динамического состояния объекта управления / В.Г. Писаренко, И.А. Варавя, Ю.В. Писаренко [и др.] // Искусственный интеллект. – 2004. – № 3. – С. 752-758.
7. Математическое моделирование в задачах оценки эффективности и безопасности горных работ: монография / М.Ю. Иконников, Ю.Р. Иконников, Е.А. Слащева, И.Н. Слащев, А.А. Яланский; М-во образования и науки Украины, ДВНЗ «Національний гірничий ун-т» та ІГТМ НАН України. – Днепропетровск: НГУ, 2015. – 215 с.
8. Слащев, И.Н. Исследование процесса формирования зон разрушения в породном массиве при отработке смежных выемочных участков шахт / И.Н. Слащев, Е.А. Слащева // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр. / ИГТМ НАН Украины. – Днепр, 2016. – Вып. 128. – С. 179-191.
9. Universal Serial Bus Specification Revision 2.0 /Compaq Computer Corp., Hewlett-Packard Company, Intel Corp., Lucent Technologies Inc, Microsoft Corporation, NEC Corp., Koninklijke Philips Electronics N.V., 2000. – 622 p.

REFERENCES

1. Shevchenko, V.G. and Slashchov, A.I. (2016), “Validation of parameters and design of information system on the underground mining job safety with taking into account geomechanical factors”, *Geo-Technical Mechanics*, no. 128, pp. 70-78.
2. Shulga, YU.I., Zdanovskiy, V.G., Krivtsov, N.V and Ignatovich, N.V. (2010), “Mines safety systems of Ukraine, their capabilities and prospects”, *Problemy okhorony pratsi v Ukrayini*, no. 18, pp. 3-11.
3. Slashchov, I.N., Shevchenko, V.G. and Slashchov, A.I. (2013), “Optimized information system for on-line predicting of geomechanical process behavior and ensuring proper decision-making on the mine safety”, *Geo-Technical Mechanics*, no. 112, pp. 129-144.

4. Derdin, O. (2009), "The "UTAS" system is a presumption of non-alternativeism", *Everything about labor protection*, no. 10, pp. 2-9.

5. National Institute of Standards and Technology Special Publication 800-53, Revision 5 Natl. Inst. Stand. Technol. Spec. Publ. 800-53, Rev. 5, 494 pages (August 2017)

6. Pisarenko, G., Varava, I.A., Pisarenko, Yu.V. [and others] (2009), "Robotic systems with intelligent sensors and multiprocessor simulators of the dynamic state of the control object", *Artificial Intelligence*, no. 3, pp. 752-758.

7. Ikonnikov, M.Yu., Ikonnikov, Yu.R., Slashcheva, Ye.A., Slashchov, I.N. and Yalanskiy, A.A. (2015), *Matematicheskoye modelirovaniye v zadachakh otsenki effektivnosti i bezopasnosti gornykh robot* [Mathematical modeling in solving problems of evaluating the efficacy and safety of mining operations], Natsionalnyy gornyy universitet and IGTM NAS of Ukraine, Dnepropetrovsk, UA.

8. Slashchov, I.N. and Slashchova, O.A. (2016), "Study of caving zone formation in the rock massif at mining adjacent panels in the mines", *GeoTechnical Mechanics*, no. 128, pp. 179-191.

9. Universal Serial Bus Specification Revision 2.0 (2000), Compaq Computer Corp., Hewlett-Packard Company, Intel Corp., Lucent Technologies Inc, Microsoft Corporation, NEC Corp., Koninklijke Philips Electronics N.V., 622 p.

Об авторах

Булат Анатолий Федорович, академик Национальной академии наук Украины, доктор технических наук, профессор, директор института, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАНУ), Днепр, Украина, gtm.bulat@gmail.com

Слащев Игорь Николаевич, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, старший научный сотрудник отдела проблем разработки месторождений на больших глубинах, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАНУ), Днепр, Украина, IMSlashchov@nas.gov.ua

Иконникова Наталья Анатольевна, кандидат технических наук, доцент кафедры метрологии и информационно-измерительных технологий, Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный университет» (ГБУЗ «НГУ»), Днепр, Украина, ikonnikovan@icloud.com

About the authors

Bulat Anatoly Fedorovich, Academician of the National Academy of Science of Ukraine, Doctor of Technical Sciences (D. Sc), Professor, Director of the Institute, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics, National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM, NASU), Dnepr, Ukraine, gtm.bulat@gmail.com

Slashchov Igor Nikolaevich, Candidate of Technical Sciences (Ph.D), Senior Researcher, Senior Researcher in Department of Mineral Mining at Great Depths, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM, NASU), Dnepr, Ukraine, IMSlashchov@nas.gov.ua

Ikonnikova Nataliya Anatoliyivna, Candidate of Technical Sciences (Ph.D), Associate Professor in Department of Metrology and Information-Measuring Technologies "National Mining University" (SHEI "NMU"), Dnepr, Ukraine, ikonnikovan@icloud.com

Анотація. У статті відображені основні принципи і наведені схеми побудови систем контролю безпеки шахт із застосуванням технологій віддаленого доступу. Показано, що розробка систем віддаленого контролю безпеки шахт є складною, але вирішуваною проблемою, яка включає комплекс теоретичних і практичних завдань з розробки і об'єднання не тільки різних програмних пакетів, а й різних методологій отримання і обробки первинної інформації. Комплекс запропонованих рішень щодо компонування системи контролю безпеки дозволяє з'єднати в одному експертному центрі: отримання і аналіз інформативних параметрів моніторингу середовища від різних автоматизованих систем, методи прогнозу і алгоритми оцінки сценаріїв розвитку подій, сучасні методи управління ризиками. Для системи контролю безпеки шахт визначена структура програмних класів цифрової тривимірної моделі і розроблено універсальний мікропроцесорний блок оцифрування вхідного сигналу, який дозволяє здійснювати контроль геотехнічних систем в режимі реального часу.

Ключові слова: безпека гірничих робіт, автоматизовані системи, візуалізація тривимірних моделей, контроль геотехнічних систем.

Abstract. In the article, key principles and schemes for constructing mine safety control systems with the use of remote access technologies are described. It is shown that development of the mine safety remote control systems is a complex but solvable problem, which consists of a complex of theoretical and practical tasks on development and integration of not only different software packages, but also different methods of obtaining and processing raw information. The proposed complex of solutions for configuration of safety control system allows to unite the following processes in one expert center: obtaining and analysis of informative parameters of environment monitoring coming from various automated systems, forecast methods and algorithms for assessing scenarios of event development, up-to-date methods of risk control. For the mine safety control system, structure of software classes was determined for digital 3D model, and a universal microprocessor unit was developed for digitizing incoming signals, which made possible to monitor geotechnical systems in real time.

Keywords: mining operation safety, automated systems, visualization of three-dimensional models, control of geotechnical systems.

Статья поступила в редакцию 5.12. 2017

Рекомендовано к печати д-ром техн. наук С.А. Курносовым