
© А.В. Гладырь, Д.С. Мигунов,
В.И. Мирошников, В.А. Луговой,
2010

УДК 622.831.31

А.В. Гладырь, Д.С. Мигунов, В.И. Мирошников, В.А. Луговой
**ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ГЕОАКУСТИЧЕСКОГО
МОНИТОРИНГА НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ**

Рассмотрена разработанная в ИГД ДВО РАН и применяемая в настоящее время система геоакустического мониторинга «Prognоз ADS». Указаны преимущества и недостатки данной системы. Предложена структурная схема системы геоакустического мониторинга нового поколения, построенной с применением современных функционально законченных модулей.

Ключевые слова: геоакустический мониторинг, АЭ-событие, маршрутизатор.

Семинар № 3

В связи с усложнением горно-геологических условий разработки месторождений твердых полезных ископаемых и переходом горных работ на все более глубокие горизонты особую актуальность приобретает проблема прогноза и предотвращения опасных динамических проявлений горного давления, приводящее в отдельных случаях к катастрофическим последствиям.

Одним из перспективных методов предупреждения возникновения горных и горно-тектонических ударов является контроль геомеханического состояния удароопасного массива горных пород с применением автоматизированных систем микросейсмического или геоакустического мониторинга [1–3]. Эти системы в реальном масштабе времени обеспечивают регистрацию и оперативную обработку параметров сейсмоакустических событий, несущих информации о геомеханических и геодинамических процессах в горном массиве.

Одним из таких измерительно-вычислительных комплексов является разработанная в ИГД ДВО РАН цифровая геоакустическая система контроля горного давления («Prognоз

ADS»). Данная система состоит из подземной и поверхностной частей и включает в себя цифровые приемники-преобразователи; объединенные в одном блоке ретранслятор, источник питания и синхронизатор; многопортовый расширитель RS-485; центр приёма и обработки потока АЭ-импульсов, а так же управления датчиками и контроля всех узлов и трактов системы на базе персонального компьютера [4].

Отличительной особенностью данной разработки является минимизация аналоговой обработки, что позволило существенно повысить простоту наладки и надежность ее эксплуатации. Структурная схема цифровой сейсмоакустической системы геомеханического мониторинга представлена на рис. 1.

В рамках всей системы поддерживаются часы реального времени, точность хода которых находится в пределах 5–7 мкс. Для обеспечения указанных параметров в подземном узловом электропитающем устройстве (ЭПУ), с помощью источника питания, вырабатывается высокостабильная частота синхронизации хода часов в ЦП.

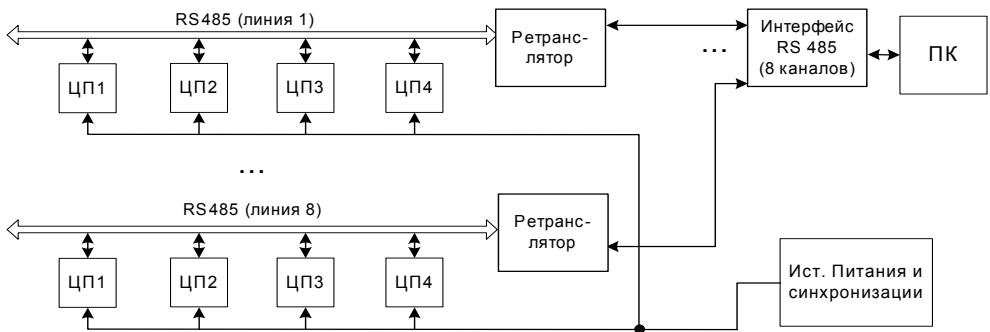


Рис. 1. Структурная схема цифровой сейсмоакустической системы геомеханического мониторинга

Источник питания (ИП) так же необходим для питания цифровых приемников переменным напряжением, что позволяет одновременно формировать ряд необходимых для внутренних элементов ЦП напряжений, а также обеспечить гальваническую развязку по цепям питания.

Ключевым элементом системы является сеть цифровых приемных преобразователей (приемников акустических сигналов), устанавливаемых в подземных горных выработках.

Цифровые приемники состоят из двух элементов: первичного преобразователя и блока цифровой обработки акустических сигналов. Первый элемент, включает в себя: первичный преобразователь акустических сигналов в электрические (пьезоэлемент); предварительный усилитель; имитатор контрольного акустического импульса и устройство его запуска. Второй элемент состоит из: согласующего усилителя – фильтра; буферной памяти цифрового приемника; аналого-цифрового процессора; цифрового процессора обмена данными; блока питания; устройства синхронизации часов реального времени; гальванической развязки RS-485. Данное техническое решение обеспечивает эффективную регистрацию акустических сиг-

налов, их оцифровку, обработку и передачу по цифровым каналам связи в центральный компьютер, с которого осуществляется управление системой.

Применение промышленного цифрового интерфейса RS-485 в системе передачи данных обеспечивает передачу данных со скоростью до 215 кбод допускает параллельное соединение нескольких датчиков на 2-проводной линии и существенно упрощает схему их коммутации в выработках. В системе предусмотрено до 8 линий связи, на каждую из которых можно подключить последовательно до 4-х цифровых приемников.

Для надежной селекции импульсов регистрируемых цифровым приемным преобразователем требуется измерять и анализировать не только основные параметры регистрируемого сигнала АЭ, таких как время и амплитуда, но и ряда их вариационных показателей: пространственных, временных, их производных и градиентов, вариаций фазово-частотных спектров, параметров затухания и поглощения сигнала и т.п. Данные параметры, рассчитываемые для каждого зафиксированного системой акустического сигнала, в рамках разработанной системы именуются макропараметрами.

Кроме того, для каждого импульса АЭ сохраняется его осцилограмма с предысторией, которые при дальнейшей обработке на управляющем ПК, позволяют уточнять время начала сигнала и более точно проводить их селекцию.

В процессе эксплуатации системы выявилась необходимость периодического изменения работы системы на ходу, с целью модернизации алгоритмов работы цифрового преобразователя (ЦП), без их возвращения на предприятие изготовитель. Для применения данного подхода была реализована возможность дистанционного обновления микропрограммы ЦП. Для этого прошивка должна загружаться в управляющий ПК и при помощи управляющей комплексом программы передаётся на все подключенные к системе ЦП.

Для получения данных с ЦП и управления системой «*PROGNOZ ADS*», разработано оригинальное программное обеспечение «*Master*», на которое также возлагается функция управления информационными потоками сети ЦП. Программное обеспечение создано на языке программирования *C#* в интегрированной среде разработчика *Visual Studio* и фактически является промежуточным звеном между программным комплексом «*GeoAcoustics-ADS*», рассчитывающим параметры зарегистрированных АЭ-событий, и непосредственно сетью цифровых преобразователей системы.

Все принимаемые с сети ЦП импульсы поступают во временные таблицы базы данных (БД), где подвергаются разноплановой селекции и наиболее качественные из них поступают на вход модуля локации, использующего не менее трех различных алгоритмов локации источников АЭ. Результаты расчетов заносятся в

БД и используются при последующей обработке и интерпретации.

В программном обеспечении системы реализованы процедуры селекции одиночных АЭ-событий, фиксируемых многоточечной антенной, которые выделяют и маркируют АЭ-импульсы, пригодные для локации и дальнейшей обработки. Такое выделение производят только в том случае, если за время прохождения данного волнового цуга через антенну в этой же зоне не возникло сопоставимых с ним по амплитуде других импульсов, которые могут существенно искажать результаты расчетов параметров источников АЭ, а в ряде ситуаций делают невозможной их локацию.

Подготовленные таким образом локационные серии поступают в программу обработки «*GeoAcoustics-ADS*», которая выполняет следующие операции:

- первичную селекцию сигналов по нескольким критериям;
- расчёт координат источников импульсной АЭ;
- расчёт акустической энергии указанных источников;
- группировку источников АЭ в очаги микроразрушений;
- расчёт параметров очагов;
- распределение источников АЭ по локальным пространственным элементам (доменам);
- накопление данных по доменам в базе данных;
- формирование отчетов о результатах геоакустического мониторинга.

Процесс опытной эксплуатации показал эффективность реализованных алгоритмов при геоакустическом контроле массива горных пород в условиях действующего горнодобывающего предприятия, обеспечивая точность локации источников АЭ в

массиве горных пород с антенной, близкой по конфигурации к кубу с ребром 100 м, в пределах ± 2 м.

Однако, наряду с очевидными преимуществами данной разработки опытная эксплуатация позволила также выявить ряд недостатков, обусловленных выбранной на этапе проектирования архитектурой построения системы и существующими на тот момент электронными компонентами. Также следует отметить то, что с момента первичного ввода в эксплуатацию данного комплекса вычислительные мощности современных микропроцессорных систем совершили значительный шаг в своем развитии по отношению к техническому оборудованию пятилетней давности, позволяя совмещать высокую производительность с низкой потребляемой мощностью, миниатюрными размерами и низкой требованиями к условиям окружающей среды, что особо актуально в условиях подземной выработки.

Одной из основных проблем, возникающих при селективной выборке полезных сигналов акустической эмиссии являются наличие большого количества промышленных шумов находящихся в частотном диапазоне сигналов акустической эмиссии, возникающих в результате ведения взрывных работ, бурения и прочих воздействий техногенной природы. Следует отметить, что несмотря на появление в последних версиях программного обеспечения рассматриваемой системы геомониторинга методов, позволяющих частично снизить влияние данных факторов на полезные сигналы, проблема не была полностью решена. Также следует отметить, что применяемые в настоящее время алгоритмы формирования локационных серий не позволяют однозначно трактовать принадлежность

того или иного импульса акустической эмиссии к заданной серии, требуя периодического вмешательства оператора и проведения ручной корректировки сформированных данных.

Качественное улучшение данных показателей невозможно без применения математически насыщенных алгоритмов, таких как вейвлет-анализ цифровых сигналов и построение вероятностных систем распознавания локационных серий на основе программной реализации алгоритмов нечеткой логики с помощью теории нейронных сетей. Применение этих алгоритмов в рамках существующего оборудования осложняется необходимостью проведения большинства расчетов в реальном времени, что предъявляет повышенные требования к вычислительной мощности цифровых приемников и скорости информационного обмена между цифровыми приемниками и персональным компьютером, осуществляющим хранение и конечную обработку информации и на данном оборудовании невозможно.

Исходя из вышеуказанных потребностей в ИГД ДВО РАН в настоящее время ведется разработка нового поколения системы геоакустического мониторинга, построенной на основе современных функционально законченных электронных модулей, лишенное указанных ограничений.

Структурная схема нового поколения системы геоакустического мониторинга представлена на рис. 2.

Основные функциональные элементы системы:

- модуль сбора данных (МСД) – обеспечивает получение первичной информации о состоянии горного массива, проведение предварительной обработкой полученных данных и

далнейшую запись данных в базу данных;

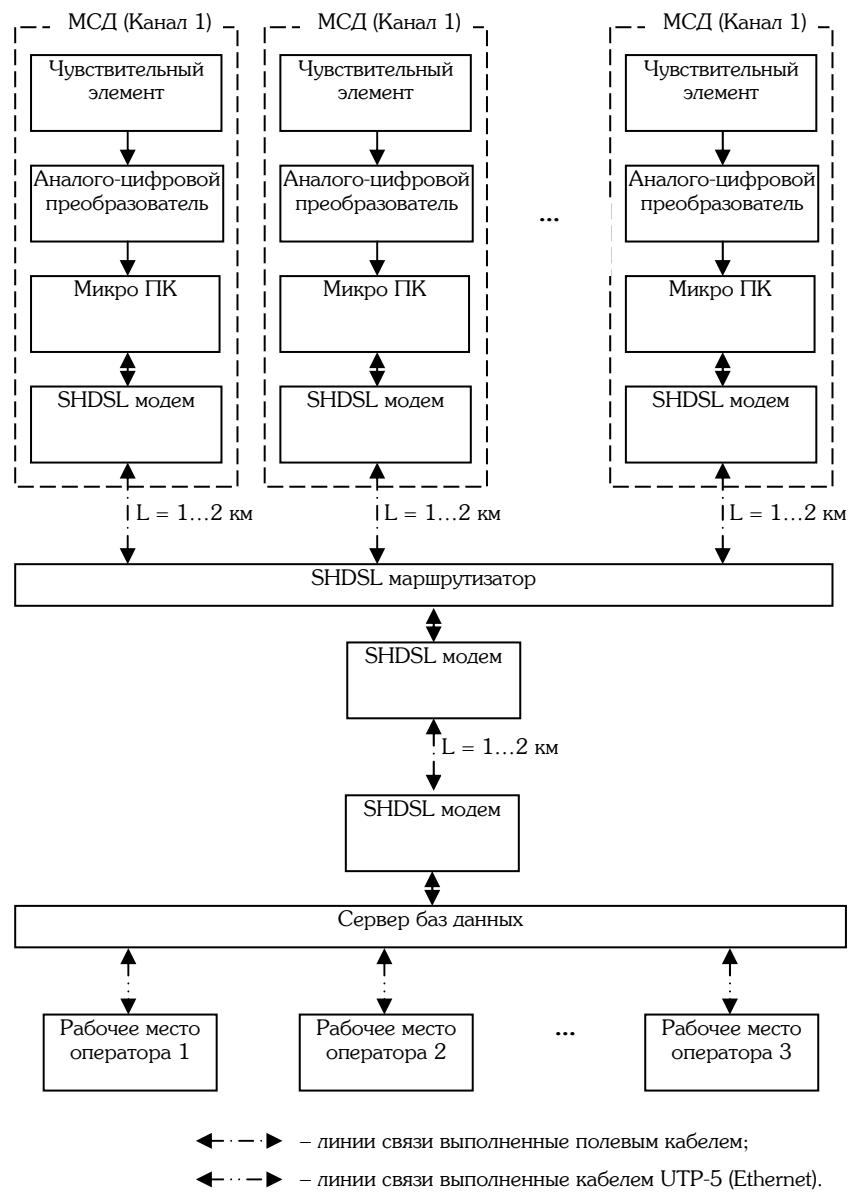


Рис. 2. Структурная схема системы геомеханического мониторинга нового поколения

- SHDSL modem – позволяет соединять удаленные элементы системы по физической двухпроводной линии с поддержкой удаленного питания, обеспечивает при этом «прозрачный» Ethernet интерфейс;
- сервер баз данных (персональный компьютер с предустановленным

сервером баз данных) – обеспечивает хранение информации;

- рабочее место оператора (персональный компьютер с предустановленным аналитическим программным обеспечением) – предоставляет возможность расчета и визуализации данных о состоянии наблюдаемого горного массива.

Модуль сбора данных представляет собой набор функционально законченных блоков, серийно выпускаемых промышленностью и имеющих известные метрологические характеристики. Применение серийно выпускаемых блоков обеспечивает простоту производства и модернизации системы, а также возможность оперативного модульного ремонта в случае возможных неполадок на этапе практической эксплуатации. На практике, все модули помещаются в герметичные пыле- влагозащищенные корпусы и размещаются непосредственно в скважине.

Сейсмологические данные воспринимаются чувствительными элементами, на выходе которых присутствует аналоговый сигнал, описывающий поведение горного массива в заданный момент времени.

Далее аналоговый сигнал переводится в цифровую форму аналого-цифровым преобразователем, что дает возможность проводить дальнейшую обработку и анализ сигнала с применением современной цифровой техники.

Полученная информация обрабатывается микро ПК, основным элементом которого является материнская плата со встроенным процессором, выполненная в форм-факторе pico-ITX. Данный форм-фактор был предложен компанией VIA и отличается компактностью и возможностью функционирования при полностью пассивном охлаждении процессора и

чипсета и низкой потребляемой мощности. На материнской плате размещены все необходимые внешние интерфейсы для подключения внешних устройств. Кроме этого, к преимуществам применения данного вида материнских плат относится то, что микро персональный компьютер, построенный на основе данной материнской платы является полностью совместим с настольным персональным компьютером семейства Intel x86, как на аппаратном, так и на программном уровне. Что значительно упрощает разработку, отладку и дальнейшую модернизацию программного обеспечения, поскольку существует возможность использования современных средств разработки прикладного программного обеспечения для операционной системы Microsoft Windows.

Поскольку модули информационного канала могут размещаться на значительном удалении друг от друга применение в качестве физического способа соединения модулей системы по протоколу Ethernet является невозможным. В данном случае, наиболее целесообразным является применение SHDSL модемов, способных осуществлять передачу информации по физической линии на расстояние до 10 километров. При этом данный вид модемов обеспечивает прозрачный для программного обеспечения Ethernet интерфейс, что дает возможность использовать при разработке стандартный стек протоколов TCP/IP, значительно упрощая и ускоряя разработку программного обеспечения.

Для осуществления маршрутизации IP трафика, а так же для подачи дистанционного питания в разрабатываемой системе используется SHDSL маршрутизатор, который представляет собой самостоятельное устройство,

выполненное в стандартном стоечном исполнении.

Для хранения данных о состоянии горного массива, а также осуществления предварительной обработки поступающей информации используется сервер баз данных, представляющий собой персональный компьютер с предустановленной серверной системой управления базами данных.

В системе планируется использование двух типов линий связи: на основе двухпроводного полевого кабеля марки П-274А и на основе кабеля UTP-5.

Линии связи на основе полевого кабеля обеспечивают соединение МСД и SHDSL маршрутизатор, а также SHDSL маршрутизатор и сервер баз данных. Применение в данном случае полевого кабеля обусловлено его низкой стоимостью и высокими эксплуатационными характеристиками в условиях агрессивной внешней среды.

На практике, протяженность линий связи между ЦПП, расположенным в непосредственной близости от точки измерения, и SHDSL маршрутизатором, расположенным в подземной аппаратной шахты, может составлять до 2000 м и более. При этом, кабель находится в условиях повышенной влажности, вдоль кабеля могут проходить промышленные высоковольтные линии, могут присутствовать прочие случайные и системные помехи и возмущающие воздействия. Вышесказанное накладывает жесткие требования к применяемым в данной системе средствам передачи информации и требует проведения предварительной практической апробации возможности устойчивого информационного обмена.

Линии связи на основе кабеля UTP-5 используются для соединения рабочего места оператора и сервера

баз данных. При этом, допускается использование имеющейся инфраструктуры локальной вычислительной сети.

Ключевыми отличиями предлагаемой системы нового поколения от существующей в настоящее время являются:

- применение исключительно серийно выпускаемых модулей, что значительно ускорит производство и отладку системы;
- отказ от использования протокола RS-485 в пользу применения SHDSL модемов для организации информационного обмена, что значительно увеличит скорость передачи информации и повысит стабильность канала данных;
- применение в составе модуля сбора данных миниатюрного персонального компьютера на основе производительного процессора с большим объемом оперативной памяти, что позволит применять более сложные математические алгоритмы анализа и распознавания сигналов;
- снижение количества применяемых линий связи при одновременном использовании более дешевых кабелей, что значительно снижает общую стоимость внедрения системы;
- отсутствие необходимости в применении программы обмена данных с датчиками и управления их сетью, поскольку информация записывается непосредственно в базу данных, что повышает общую стабильность системы вследствие исключения промежуточных звеньев в информационном потоке.

Внедрение системы геоакустического мониторинга нового поколения, лишенной аппаратных ограничений существующей системы, позволит значительно ускорить разработку и дальнейшую модернизацию программного

обеспечения, поскольку предполагается использование промышленно производимых модулей с известными метрологическими характеристиками, производимыми и поддерживаемыми крупными отечественными и зарубежными производителями программных и аппаратных средств. Кроме этого, применение вычислительных модулей высокой производительности позволит в реальном времени производить сложные, математически насыщенные расчеты, что положительно скажется на точности анализа сигналов акустической эмиссии. А использование высокоскоро-

стных каналов передачи информации позволит получать и анализировать значительно большее количество данных, что неизбежно приведет к повышению точности локации событий акустической эмиссии снизив вероятность появления неоднозначных решений.

Проведенная в шахтных условиях оценка возможности и скорости стабильной передачи данных SHDSL модемами показала перспективность предложенного подхода и реализуемость предложенной структурной схемы системы геоакустического мониторинга нового поколения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Петухов И.М., Смирнов В.А., Винокур Б.Ш., Дальнов А.С. Геофизические исследования горных ударов. – М.: Недра, 1975. – 134 с.
2. Ямщиков В.С. Методы и средства исследования и контроля горных пород и процессов. – М.: Недра, 1982.
3. Вознесенский А.С. Системы контроля геомеханических процессов. – М.: Изд. МГГУ, 2002.
4. Акустический измерительно-

вычислительный комплекс для геомеханического мониторинга массива пород при ведении горных работ / Г.А. Калинов, И.Ю. Рассказов, А.Ю. Искра, Д.А. Куликов, К.О. Харitonov // Физическая акустика. Распространение и дифракция волн. Геоакустика. Сборник трудов XVI сессии Российского акустического общества. Т. 1. – М.: ГЕОС. 2005. – С. 351–354.

ГИАБ

Коротко об авторах

Гладырь А.В. – научный сотрудник Института горного дела ДВО РАН, г. Хабаровск,
Мигунов Д.С. – младший научный сотрудник Института горного дела ДВО РАН, г.
Хабаровск,
Мирошников В.И. – кандидат технических наук, старший научный сотрудник Института Горного дела ДВО РАН, г. Хабаровск,
Луговой В.А. – доктор технических наук, главный научный сотрудник Института горного дела ДВО РАН, г. Хабаровск, adm@igd.khv.ru

