

*ПУСТОВАРОВ В.И.,  
БОЙКО В.В.,  
ЛЕМЕШКО В.А.*

## **ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ РАСШИРЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ**

Представлены особенности системы тестирования, контроля и управления наличными ресурсами элементов производства и требования, используемые в разных технических отраслях хозяйства. Рассмотрены основные свойства подсистем измерения и накопления результатов испытаний от отдельных технических элементов производства до подсистем сейсмического анализа состояния конструкций в подземных производственных комплексах. Отмечены проблемы подключения подсистемы к действующей системе и предложены пути расширения функциональных возможностей системы.

The peculiarities of automated industrial control systems and the requirements to the seismic subsystem are considered. The problems of insertion the seismic subsystem to the system operating are defined. The way of system functional extensions are offered.

### **Введение**

Широкий круг систем автоматизированного контроля и управления для сбора, накопления данных и принятия по ним оперативных решений не требуют дорогостоящего оборудования, но должны обеспечивать достаточную работоспособность и надежность в сложных условиях эксплуатации. Для предотвращения аварий в разных отраслях промышленности и транспорта созданы автоматизированные системы, которые путем контроля и проведения испытаний оборудования в условиях реальной эксплуатации и усложненных условиях обеспечивают безопасные условия работы персонала. В то же время, наука и техника систем оперативного контроля и проведения испытаний постоянно развивается, предлагая новые решения для обеспечения безопасной эксплуатации транспорта, работы шахтеров под землей и во многих других отраслях промышленности и хозяйства [1-4].

Одним из наиболее распространенных методов реализации оперативного контроля и испытаний является применение открытых SCADA-систем (от Supervisory Control And Data Acquisition). Обмен данными в таких системах организован в соответствии со стандартом RS-485 в протоколе компьютерной сети ModBus. Протокол ModBus основан на принципе подчинения master-slaves, т.е. сервер SCADA выдает контроллеру адресный запрос на выдачу данных с его регистров. Контроллер с указанным адресом отвечает, при этом обмен осуществляется

при помощи пакета PDU (Protocol Data Unit), который помещен в пакет ADU (Application Data Unit), который зависит от типа линии связи. Принципиальным недостатком протокола ModBus является невозможность инициализации связи для подчиненного устройства (slaves) с сервером (master). Необходимо ждать своей очереди опроса и частота опроса должна быть достаточной, чтобы обеспечить приемлемое время получения информации. В принципе любая передача информации между любыми двумя устройствами возможна лишь с участием master-устройства (сервера). Это существенно ограничивает применение ModBus в системах реального времени, но если необходимые частоты обмена посылками не превосходят десятка герц, то с помощью указанного интерфейса можно обеспечить своевременную передачу информации.

### **Типовые области применения**

В общем случае любая автоматизированная система контроля и испытаний состояния базовых элементов промышленных объектов включает совокупность датчиков и приборов для оценки предаварийного состояния, алгоритма выработки решения в зависимости от набора угроз аварий и разрушений. Методы и средства сбора и накопления информации, реализуемые в таких системах, опираются на расходование части ресурсов ключевых элементов для предотвращения упомянутых критических угроз. Накопление данных и объективное до-

кументирование состава испытаний, состояния объекта и оценки системой наличия угроз и выявление их причин являются обязательными для накопления в ретроспективной базе данных (БД). По такому принципу работают автоматизированные системы на транспорте, производстве, строительстве и т.д.

Обязательной экономической основой такой системы является превышение затрат на испытания над стоимостью затрат ресурсов. Это должно обеспечить экономическую эффективность производства при достаточной защите от катастрофических последствий аварий и разрушений. Практически единственным средством предотвращения таких последствий является своевременное проведение испытаний и накопление достоверной информации об их результатах во встроенных БД автоматизированных систем.

Одним из наиболее важных применений такой автоматизации связано с добычей угля, которая в нашей стране относится к одной из самых опасных отраслей промышленности. Взрывы метана и горные удары, шахтные выбросы и обрушения – это далеко не полный перечень опасностей, подстерегающих шахтеров на глубинах, зачастую, свыше одного километра. Автоматизированные системы контролируют технологические участки шахт, работу оборудования и условия работы шахтеров. В большинстве шахт функционируют системы контроля за технологическим оборудованием (транспортёрами, комбайнами, вентиляторами, подъемниками, их компонентами и т.д.). Стал актуальным, как никогда, модульный (блочный) принцип построения систем с возможностью оперативного расширения функциональности программного обеспечения. Если к такой системе добавить подсистему контроля за состоянием горного массива и воздуха в производственных помещениях, подсистему прогноза внезапных выбросов и горных ударов, подсистему определения местоположения персонала, то безопасность труда шахтеров только повысится. В шахтах Донбасса работает много подобных систем разных производителей. Часто они решают разные, иногда и одинаковые задачи, но по-разному: есть еще проблемы в прогнозировании внезапных выбросов и несчастно предлагаются различные способы прогнозирования таких явлений и определения

периодичности испытаний с использованием пассивных и активных сейсмических технологий [1-4].

В качестве примера реализации и использования результатов исследований рассмотрим анализ и определение направленности модернизации существующей унифицированной телекоммуникационной автоматизированной системы (УТАС) [11] приборами сейсмической подсистемы. Система УТАС – это многофункциональная унифицированная телекоммуникационная система диспетчерского контроля и автоматизированного управления машинами и технологическими комплексами, созданная в 2004 году на базе открытой SCADA-системы [11].

Сейсмическая подсистема предназначена для фиксации сейсмических событий для повышения безопасности шахтных работ. Для этого сейсмическая подсистема оперативно оценивает мощность сейсмического события, местоположении очага события ( $x, y, z$ ), идентифицирует событие и вырабатывает, при превышении заданной величины мощности, сигнал «АВАРИЯ» при котором аварийно отключается электрическая энергия в подземном пространстве шахты. Для этого используются показания сейсмических датчиков, установленных в шахте. Кроме этого, подсистема экспортирует информацию о сейсмических событиях в систему УТАС для хранения, накопления и последующего анализа статистическими методами. Отдельной задачей является идентификация событий по форме сигналов, полученных в результате испытаний. Для этого в подсистеме должна накапливаться БД амплитудно-частотных характеристик технологических шумов от шахтных машин и механизмов.

Аппаратно подсистема состоит из сейсмических приемников (сейсмодатчиков), геофонов, контроллеров, аппаратуры приема-передачи, линии передачи (канала связи), сервера обработки и связи с системой УТАС. Требования к численным характеристикам и параметрам устройств, сформированные из задач подсистемы представлены в Табл. 1.

Остановимся на некоторых требованиях. Разрядность аналого-цифрового преобразователя датчика – это, прежде всего, разрешение датчика. Чтобы шумы (помехи, производственные колебания машин и механизмов) не смогли

подавить полезный сигнал, этот показатель ( $R$ ), должен быть не менее 24 бит [5]. А, учитывая, что датчик работает в одном диапазоне, условие  $R=24$  должно быть выполнено. Следующие два параметра,  $F_v$  и  $dt$ , относятся к разрешению датчика по времени. Для отыскания очага сейсмического события используется метод взаимной корреляции, в котором используется  $dt$ ,

поэтому, чем меньше будет это время, тем точнее будут вычислены координаты очага. Параметры  $F_0$ ,  $V$  и  $Q$  характеризуют пропускную способность информационного тракта (канала) и определяется количеством датчиков  $N$ , интервалом дискретизации датчика  $dt$ , количеством проходящей информации в секунду и реакцией системы на угрожающее событие  $t_c$ .

Таблица 1

## Основные требования к устройствам сейсмической подсистемы

№ п.п.	Уровень	Устройство	Параметр	Обозначение	Требование	Примечание
1	Нижний	Датчик	Разрядность, бит	$R$	24	
2	Нижний	Датчик	Полоса частоты регистр., Гц	$F_v$	0-1000	
3	Нижний	Датчик	Дискретизация, сек.	$Dt$	0.0001	$F_d = 1/dt$
4	Средний	Контроллер	Частота опроса датчиков, Гц	$F_o$	$F_o = F_d \cdot (N+2)$	$N$ – колич. Датчиков
5	Средний	Контроллер	Скорость передачи, кадр/ с	$V$	10 000	
6	Верхний	Компьютер	Реакция системы на угрожающее событие, с.	$t_c$	0.1	
7	Верхний	Хранилище	Объем хранимой информации в сутки	$Inf$	$86400 \cdot F_o \cdot K$	
8	Верхний	Компьютер	Количество обработанной информации в с.	$Q$	Не менее 1.5МБ/с	

Время реакции системы  $t_c$  состоит из суммы времен преобразования АЦП датчика, передачи в контроллер, формирования слова и передачи по линии связи, потере времени в линии, в ретрансляторе, вводе в персональный компьютер, время, затраченное на преобразование и сравнение с критической величиной, время формирования и выдачи сигнала “авария”. Достаточно приблизительно  $t_c = t_d + t_{перед} + t_{анализа} + t_{сигнал}$ . (где  $t_d$  – время, затраченное датчиком,  $t_{перед}$  – время, затраченное на передачу,  $t_{анализа}$  – время, затраченное на анализ,  $t_{сигнал}$  – время, затраченное на формирование сигнала “авария”. Возможны два варианта хранения: первый – с накоплением

полной информации, второй – с пропусками записей при отсутствии сейсмических событий с энергией выше пороговой. Считаем, что на этом уровне нужно сохранять всю информацию в течение суток. Константа 86400 – количество секунд в сутках. С учетом времени дискретизации  $dt$ , общее количество запомненной за сутки информации  $N_{зс}$  составляет:  $N_{зс}(\text{слов}) = F_d \cdot 86400 \cdot N$ . Общее количество датчиков зависит от характеристик шахты и составляет не менее 25 трехкоординатных сейсмодатчиков [6], т.е. минимальное число  $N = 75$ .

Взаимодействие сейсмической подсистемы с системой УТАС показано на Рис.1.



Рис.1. Взаимодействие сейсмической подсистемы с системой УТАС

Вся обработка сейсмической информации производится в сейсмической подсистеме (ввод данных от сейсмических датчиков и их анализ,

проверка данных на критичность, вычисление местоположения сейсмического события, вычисление объема выделенной энергии, иденти-

фикация события, отображения события, формирование записи для экспортирования в систему для хранения и передача этой записи в хранилище системы). Подсистема имеет два выхода в систему:

- Для передачи сигнала АВАРИЯ в систему для сигнализации и отключения электроэнергии в подземном пространстве средстами системы.
- Для передачи информации о сейсмическом событии в специальный комплекс сбора данных для длительного хранения.

Для вычисления координат очага сейсмического события используются два метода: метод эпицентральной  $\delta t$  [7], при котором координаты очага возмущения находятся при решении системы уравнений.

$$(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2 + (z_i - z)^2 = V^2 \cdot \delta t_i^2,$$

где  $x_i, y_i, z_i$  – координаты сейсмического датчика,  $x, y, z$  – координаты сейсмического очага,  $V$  – скорость продольной волны,  $\delta t_i$  – разность времени прихода волны на станцию и времени события в очаге,  $i$  – количество точек наблюдения (не менее 6).

Как видно, этот метод основан на измерении скорости распространения продольных волн в среде. Второй метод – это метод азимутов [7]. В нем по показаниям сейсмодатчиков вычисляются коэффициенты  $A$  и  $B$  уравнения прямой вида  $y = Ax + B$  для каждого пункта установки датчиков. Место пересечения направляющих дает координаты очага возмущения. При удовлетворительном совпадении результатов считается, что координаты сейсмического очага найдены.

Энергия сейсмического события вычисляется, исходя из результатов обработки данных с сейсмодатчиков. В [8] представлены результаты исследования нахождения энергии сейсмических событий по данным, полученным с сейсмодатчиков. При этом, анализируя амплитуды сейсмоколебаний, предложено уравнение.

$$A_1/A_2 = (r_2/r_1)^n \cdot e^{-\dot{a} ras},$$

где  $A_1, A_2$  – амплитуды сейсмических импульсов, зафиксированные датчиками;  $r_1, r_2$  – расстояния от источника до сейсмоприемника;  $n$  – показатель степени геометрического расхождения;  $\dot{a}$  – коэффициент поглощения;  $ras = r_1 - r_2$ .

Коэффициенты  $n$  и  $\dot{a}$  находятся методом наименьших квадратов. Подставив их значения в уравнение  $A = A_0 \cdot r^{-n} \cdot e^{-\dot{a}r}$  и решив относительно  $A_0$ , можно найти амплитуду в эпицентре возмущения. В общем случае, форма импульса

будет изменяться по закону  $A = A_0 \cdot e^{-\beta t} \cdot \sin(\omega_0 \cdot t)$ , где  $\beta$  – коэффициент затухания,  $\omega_0$  – круговая частота.

Энергия волны в точке регистрации вычисляется по формуле Рейли [9]:

$E = \sum (A_f^2 \cdot \Delta f)$ , где  $A_f$  – значение спектральной плотности скорости смещения на соответствующей частоте. Закон ослабления можно применить и к энергии [8], т.е. тогда  $E = E_0 \cdot r^{-n} \cdot e^{-\dot{a}r}$ .

### Типовые функции прогноза

В подсистему входит программа статистического анализа, которая выдает прогноз (в виде вероятности) выброса или горного удара в зависимости от характеристик сейсмического события, зафиксированного сейсмическими датчиками. Для этого обрабатывается материал БД, находятся подобные характеристики с заданными допусками и вычисляется вероятность появления вторичного динамического сейсмического события (выброса или горного удара) исходя из соотношений количества сейсмособытий, которые произошли в прошлом  $SP$  к общему количеству сейсмособытий с подобными характеристиками ( $SP + SN$ ) в этом забое, т.е.  $P(S) = SP/(SP+SN)$ , где  $P(S)$  – вероятность вторичного динамического события,  $SN$  – количество измерений, когда вторичных динамических событий не произошло [10]. Эта информация необходима, прежде всего, при проведении сотрясательных взрывов, когда необходимо разгрузить напряженные участки пласта или породы, а в первые минуты после сотрясательного взрыва ни выбросов, ни ударов не произошло.

По результатам работы сейсмической подсистемы, при превышении характеристик сейсмического события, в систему передаются экстренный сигнал “авария”, мощность сейсмического события, его координаты и результаты замеров всех сейсмических датчиков для долговременного хранения.

### Выводы

Из вышеперечисленного можно сделать вывод, что при модернизации автоматизированной системы управления путем добавления к ней новых подсистем, необходимо, чтобы все новые (добавляемые) функции выполнялись в рамках подсистемы, т.е. подсистема должна быть максимально автономна. В то же время необходимо предусмотреть средства и принци-

пы для обеспечения экстренного и стандартного входа в базовую (основную) систему. Подключение дополнительных подсистем существенно повысит безопасность подземных работ в шахтах, позволит оперативно анализировать результаты сотрясательных и технологических взрывов, что потребует дополнительной функциональности и гибкости в специально разрабатываемых программных модулях. Предложенные методы модернизации позволяют подключать к существующим автоматизированным системам подсистемы: сейсмического анализа и прогноза внезапных выбросов и горных ударов, контроля нахождения шахтеров и контроля состава воздуха, контроля за динамикой выделения метана, аварийного отключения электроэнергии и т.д. Отметим дополнительные требования к разработке программного обеспечения:

1. Для повышения уровня автоматизации и достоверности накопленных данных испытаний во встроеной БД системы контроля необходи-

мо хранить данные о контролируемых ресурсах и данные от датчиков физических величин и распознанные приборами образы ситуаций.

2. Программное обеспечение таких систем и их подсистем должно работать с управляющими и информационными данными стандартных внутренних форматов, предоставляющих возможность автоматической настройки на расширение входного набора данными подсистем и частичное сохранение работоспособности при авариях.

3. Основными частями ключевых элементов поиска образов критических событий, должны быть функционалы статистик, ограничений и экстремумов от выборок значений характеристик объекта на разных интервалах времени.

4. Использование статистических функционалов критериев доверия и ретроспективного анализа статистик позволяют уточнять прогнозы, задавая эффективную периодичность активных экспериментов, требующих значительных производственных ресурсов.

#### Список ссылок

1. Мещанинов С. К., Король В.И. Имитационная система промышленной безопасности угольных шахт//Науковий вісник НГУ, 2010. – С.19-22.
2. Александров П.А., Калечиц В.И., Маслаков О.Ю. и др. Система раннего обнаружения аварийных и предаварийных состояний на основе мониторинга микро- и наночастиц. ([www.ntsр.info/science/library/3196.htm](http://www.ntsр.info/science/library/3196.htm))
3. Зберовский В.В., Опрышко Ю.С., Поляков Ю.Е. Методические основы контроля аппаратурой ЗУА-98 эффективности гидроимпульсного воздействия: Материалы XXI Межд. науч. школы. – Алушта – 2011. – С.136-137.
4. Захаров В.Н., Харченко А.В. Методика автоматизированного прогноза изменения напряженного состояния углеродного массива при горных работах: Материалы XVIII Межд. науч. школы. – Алушта – 2008. – С.108-111.
5. Сато Ю. Обработка сигналов. Первое знакомство. М.: Издат.дом “Додэка-XXI”, 2002. – 176с.
6. Аверин А.П., Захаров В.Н., Харченко А.В. Аппаратно-программный комплекс нового технического уровня для проведения шахтных сейсморазведочных работ ASD// Деформирование и разрушение материалов с дефектами и динамические явления в горных породах и выработках: XXI международная научная школа им. ак. С.А. Христиановича, 15-25 сентября 2012г. Материалы конференции. С.:ТНУ, 2012. - с.10-13.
7. Андреев С.С. О методах интерпретации близких землетрясений.//Труды института физики Земли, №25(192), М.:ИФЗ, 1962. – с.226-311.
8. Анцыферов М.С. Исследование местоположений очагов, энергии и частотных спектров сейсмоакустических импульсов, возникающих в процессе разработки угольного пласта. Краткий научный отчет. М.: ИГД, 1967. – 127с.
9. Харкевич А.А. Спектры и анализ. М.: Наука, 1957. – 127с.
10. Гнеденко Б.В., Хинчин А.Я. Элементарное введение в теорию вероятности. М.: Наука, 1964. – 164с.
11. Унифицированная телекоммуникационная автоматизированная система. <http://www.itras.com.ua>