

**ВОПРОСЫ АДЕКВАТНОГО СОПРЯЖЕНИЯ В МОБИЛЬНЫХ
ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ ШАХТНЫХ
ПОДЪЕМНЫХ КОМПЛЕКСОВ И ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК**

Розглянуто практико-теоретичні питання технічного забезпечення відповідності заданим параметрам сполучення в мобільних інформаційно-вимірjuвальних системах.

**QUESTIONS OF ADEQUATE INTERFACE IN MOBILE INFORMATION-
MEASURING SYSTEMS OF MINE ELEVATING COMPLEXES AND MINE
STREAKS**

The practice-theoretical questions of technical maintenance of conformity to the given parameters of interface in mobile information-measuring systems are considered.

Объективная оценка эксплуатационного качества шахтного подъемного комплекса и горной выработки, в соответствии с правилами технической эксплуатации и безопасности работ в горной промышленности, наиболее полно и качественно определяются мобильными информационно-измерительными системам шахтных подъемных комплексов и горных выработок (МИИСК). Большое разнообразие оборудования и исследовательских задач предполагает использование такого же широкого спектра датчиков и приборов. Известно, что подключение разнообразных датчиков к МИИСК выявляет неожиданные проблемы, причины которых скрыты от проектировщика, и их местонахождение, их появление трудно предсказать, а обнаружить и устранить можно только в процессе шахтного эксперимента. Как говорилось ранее [1], ввод в ПЭВМ (интерфейс) электрического сигнала требует учета всей специфики аппаратуры МИИСК и представляет собой наиболее трудоемкую и ответственную работу. Трудности реализации интерфейсных средств заключаются главным образом в том, что датчики и другие устройства, как правило, имеют разнородные выходы и для подключения в ПЭВМ требуются специальные схемы, согласующие устройства (нормализаторы) и т.п. Специфика построения такого интерфейса обусловлена необходимостью, обеспечить связь с ПЭВМ в условиях наличия помех (что особенно сложно при передаче низковольтных электрических сигналов в условиях горной выработки [2]), высокую точность и скорость передачи, преобразования сигналов датчиков исследуемых объектов в режиме реального времени. Многолетняя практика и опыт работ ИГТМ НАН Украины с МИИСК в горных выработках и специальных лабораториях показали, что в основном применяются специальные датчики и приборы с неунифицированными параметрами, требующие кроме нормализаторов создавать заново кабельное хозяйство для правильной стыковки с АЦП (аналого-цифровым преобразователем) МИИСК. Решая задачу в соединения устройств МИИСК между собой, нужно

прежде всего ответить на вопрос, совместимы ли они в принципе, т.е. в сложных системах МИИСК последовательное, без разбора, соединение всех точек заземления разнородных приборов приводит к проблеме их совместимости.

Наличие у приборов контактов «GND» (Земля) или «AGND» (Аналоговая земля) не говорит о месте подключения, а говорит только о том, что провод цепи GND (AGND) исходит непосредственно из точки подключения внутреннего общего провода аналоговых или цифровых узлов. Для выяснения этого вопроса нужно знать тип входа и выхода устройства, к которому относится данная цепь GND, и следовать общеэлектротехническим принципам подключения, относящимся к заданному случаю подключения устройств. Целью этой статьи является формализация, насколько это возможно, процесса ввода электрических сигналов различных датчиков МИИСК, а также временной модели сигнала МИИСК.

Возможны следующие типовые варианты подключения датчиков МИИСК. Сразу же следует оговориться, что любая классификация огрубляет детали, которые существуют на практике, поэтому автор надеется на разумное ее применение.

По наличию заземления:

1. Заземленный датчик, заземленный МИИСК.
2. Заземленный датчик, плавающий МИИСК.
3. Плавающий датчик, плавающий МИИСК.

1. Первая из приведенных выше схем подключения, наиболее проблемная т.к. токи утечки (паразитные) могут циркулировать между точками заземления датчика и МИИСК, создавая помеховое синфазное напряжение, которое индуцирует синфазный помеховый ток, и поскольку МИИСК характеризуется очень высоким входным импедансом (больше 20 МОм), то основная часть помехового тока будет протекать через сопротивления, находящиеся в измерительном контуре МИИСК. Понятно, что помехи схемы будут большие, т.к. помеховое напряжение появляется на входе МИИСК как обычное дифференциальное, т.е. как полезный сигнал.

2. Вторая схема значительно лучше, т.к. при использовании плавающего МИИСК индуцированный помеховый ток существенно уменьшится потому, что паразитные импедансы очень велики. В основном схема дает приемлемые помехи в лабораторных и некоторых шахтных условиях.

При тензометрических натуральных измерениях МИИСК (например, «МАК-2») подключается в диагональ измерительного моста, а экран подсоединяют к общей точке питания моста.

3. Третья схема наиболее помехозащищенная и поэтому предпочтительнее. При коротких соединительных проводах помехи незначительные даже без защитного экрана. Однако при этом варианте нельзя подключать экран датчика с GND (AGND) МИИСК, т.к. это приведет к увеличению помехового тока, т.е. помехи.

При правильном подключении датчиков и МИИСК низкопотенциальные выводы и экраны находятся под одним и тем же напряжением или эквипотен-

циальны. Понятно, что в МИИСК, когда несколько датчиков питаются от одного источника напряжения (например МИИСК «МАК-1» и «МАК-2»), на них действуют различные помеховые синфазные напряжения. Поэтому при последовательном подключении МИИСК, необходимо обеспечить переключение помеховой защиты.

По наличию экранирующей защиты:

1. Экранированный источник сигнала – датчик или прибор имеющий сплошной внешний токопроводящий контур. Выбирая тот или иной способ подключения этого экрана, надо всегда отдавать себе отчет в том, какой ток течет через экран и будет ли он вредить сигнальной цепи, потому что идеальный экран тот, по которому ток не течет.

2. Неэкранированный источник сигнала – датчик или прибор, не имеющие токопроводящего контура или если имеющийся не является экраном.

По полярности источника сигнала:

1. Однополярное значение.
2. Двухполярное значение.
3. С несимметричным выходом.

По числу фаз:

1. Однофазный датчик или прибор.

2. Дифференциальный (двухфазный) датчик или прибор всегда содержит в себе два противофазных источника сигналов работающих относительно одного провода.

3. Дифференциальный датчик или прибор с ложной второй фазой, т.е. это однофазный источник с внутренним сопротивлением, который дополнен эквивалентом второй фазы с нулевым выходным напряжением.

По характеру внутреннего сопротивления

(активному внутреннему сопротивлению на низкой частоте):

1. Источник напряжения.

Низкоомный (до 500 Ом) выход прибора с коротким кабелем (например, 4201ДСТ-10).

Основные параметры:

- внутреннее сопротивление;
- полярность;
- максимальный выходной ток.

2. Источник тока.

Высокоомный выход прибора (например, МП-95).

Основные параметры:

- полярность;
- запас по напряжению;
- внутреннее сопротивление.

3. Источник заряда.

Например, пьезоэлектрический акселерометр типа АВН 04-12, постоянная составляющая которого не представляет практического интереса для исследования, поэтому рассматривается как источник переменного заряда.

Практически аналогично входные устройства МИИСК можно классифицировать:

- по входному сопротивлению;
- по количеству фаз и степени симметрии входа;
- по полярности входного сигнала.

Известно, что лучший выход-это независимый (гальваноразвязанный) вход. Гальваноразвязка сигнальной цепи исключает тем или иным способом паразитный сквозной ток по общему проводу от датчика до АЦП МИИСК. Этот ток, вызывающий помеховое падение напряжения на сопротивлении общего провода, в том числе индуктивного характера, вызывается разностью потенциалов между AGND датчика МП-95 и GND АЦП МИИСК (например, «ОРИОН»), создавая дополнительную помеху до 30 милливольт.

Довольно часто встречающийся случай, когда при сопряжении приходится иметь дело с двумя и более точками заземления. Например, при силоизмерительных работах на двадцати пяти-пятидесяти тонных скипах используется тридцатиметровые фидеры с сопротивлением примерно 50 Ом, с учетом измерительного тракта напряжение помехи до 25 вольт и для входного сигнала 10 милливольт (среднее значение тензометрического датчика типа 4201ДСТ-10 МИИСК «МАК-2») необходимо обеспечить точность 1%. Указанная точность ограничивает допустимую помеху до 0,1 милливольт. Другими словами, падение напряжения на измерительном тракте, обусловленного током помехи не должно превышать 0,1 милливольт. То есть значение тока помехи должно быть менее 2 микроом, а сопротивление между точками заземления примерно 1 Гигом. Выше был рассмотрен наиболее благоприятный случай из практики. Другие значения напряжения помехи и начальные значения (1-3 милливольт от датчика) приведут к более жестким требованиям к этому сопротивлению. Типовые инструментальные усилители МИИСК не в состоянии обеспечить таких высоких требований к сопротивлениям между различными точками заземления. Это могут обеспечить, например, изолированные модули нормализаторов типа 5В38 МИИСК «МАК-2». Они незаменимы для ответственных низкопотенциальных электрических измерений, где требуется измерять на фоне сильных помех или других синфазных напряжений в горных выработках и лабораторных экспериментах.

Как было показано в работе [2] основной задачей для МИИСК является подавление синфазного сигнала с частотой 50 герц, который появляется как электромагнитная наводка от электрической сети 220/380 В. Серьезной проблемой в этом случае становится индуктивность проводника (кабеля), и устранить ее без применения дифференциального усилителя практически невозможно.

Из теории электрических цепей известно, что относительная погрешность приведенной к выходу усилителя измеряемой величины $K_0(U_1-U_2)$, где K_0 -дифференциальный коэффициент усилителя, U_1 и U_2 входные напряжения дифференциального усилителя, обусловленная влиянием синфазного сигнала $U_c = (U_1+U_2)/2$, будет равна

$$\gamma_c = 2\gamma U_c/(U_1-U_2), \quad (1)$$

где γ -реальная относительная погрешность усилителя.

Предположим, что требуется получить тензометрический сигнал с разрешающей способностью 12 бит (МИИСК «МАК-2»), то есть с отношением сигнала к погрешности равным 4096. Положим допустимую погрешность, равную 1 младшему значащему разряду АЦП МИИСК типа DAC rad -71-A/B (в стандарте РСМСІА 2,0). Предположим, что погрешность полностью определяется синфазной помехой, т. е. равна γ_c и $\gamma_c = 1/4096$. Если при этом синфазная помеха в 10 раз больше полезного сигнала (реальные ствольные условия), т.е. $U_c/(U_1-U_2)=10$, то из формулы (1) следует, что погрешность усилителя должна быть равна 1/81920, что требует иметь разрешающую способность не менее 17 бит. Из рассмотренного примера понятно, что тензометрические сигналы, когда измеряется разность двух напряжений, нужно обрабатывать потенциал U_1 измеренный относительно U_2 , а не относительно АGND. Эта идея положена в основу высококачественных прецизионных усилителей с дифференциальным входом типа 5B38. Кроме того, в этом случае расширяется рабочий диапазон измерения, как вверх, благодаря взаимной коррекции нелинейности, так и вниз, благодаря понижению погрешности нуля. Поэтому в многоканальной МИИСК оказывается более выгодным не корректировать погрешности (коррекция занимает много времени и требует специальных автоматических устройств), а просто регистрировать значение нулевого положения и чувствительность каждого канала, чем обеспечивается возможность коррекции при обработке шахтных измерений. Она может быть выполнена, как программным путем (математическое определение среднего), так и аналоговым (фильтрация высокочастотных случайных составляющих). В том и другом случаях эта обработка сопряжена со значительным увеличением затрат времени на измерение, так как, по сути, представляет собой определение среднего значения параметра за определенный промежуток времени. При этом точность возрастает пропорционально корню квадратному из времени усреднения – независимо от того, проводятся цифровые или аналоговые усреднения. Это обстоятельство существенно ограничивает применение статистического метода обработки в МИИСК шахтных подъемных комплексов «МАК-1» и «МАК-2».

Понятно, что для адекватного сопряжения в МИИСК необходима достаточно надежная математическая модель сигнала. Особенностью предлагаемой модели сигнала (описания электрического сигнала на формальном языке математики) измерительной информации МИИСК является априорная неопределенность значений информативных параметров, обусловленная в общем случае неизвестными размерами измеряемой величины. На основе обобщения результатов теоретических и экспериментальных исследований в работе [4] показано, что результаты измерения при контроле плавности движения подъемных сосудов в проводниках жесткой армировки моделируется формулой: $X_i = a(t_i) + \delta_i$, т.е. в виде суммы сигнала измерительной информации (квазидетерминированная информация) и помехи (случайная составляющая). При этом временная модель

сигнала измерительной информации МИИСК непрерывна по времени и дискретна (квантирована) по информативному параметру, причем информативный параметр может принимать только некоторые разрешенные уровни X_i , отстоящие друг от друга на конечные интервалы (кванты) ΔX . Таким образом:

$$a(t) = \sum_{k=1}^{\infty} U_m [1(t-t_k) - 1(t-t_k - \tau)] , \quad (2)$$

где U_m - мгновенное значение линейного ускорения; τ - длительность импульса опроса АЦП; $t_{k+1} - t_k = T$ - период следования импульса, который равен $1/f$, где f - частота опроса АЦП,

$$1(t-t_1) = \begin{cases} 0, & t < t_1, \\ 1/2, & t = t_1, \\ 1, & t > t_1 \end{cases}$$

$1(t-t_1)$ – функция включения.

В этом случае аналитическое выражение квазидетерминированной составляющей сигнала МИИСК примет вид:

$$a(t) = \sum_{k=1}^{\infty} U_m [1 + mx(t)] [1(t-t_k) - 1(t-t_k - \tau)] , \quad (3)$$

где m – коэффициент, характеризующий диапазон динамичности системы «подъемный сосуд – жесткая армировка» $U_m [1 + mx(t)]$.

Таким образом, описание сигналов квазидетерминированной моделью (3) дает хорошую математическую интерпретацию происходящих в шахтном стволе динамических процессов. При известном U_m эта модель дает точное (в пределах принятой модели) описание мгновенных линейных ускорений. Однако поскольку ускорения не известны, то на основании этой модели определяют предельные характеристики: диапазон изменения сигнала, частотный диапазон, фазу и другие характеристики.

Вышеизложенное позволяет сделать следующие выводы:

1. Важнейшим этапом [1] на пути создания интерфейса МИИСК, обладающего необходимыми свойствами, является проведение в процессе разработки обязательных испытаний образцов в жестких шахтных условиях эксплуатации, позволяющих установить соответствие его требованиям и выявить технологические недостатки.

2. Общей проблемой интерфейса, работающего в режиме реального времени (измерение происходит в динамическом режиме работы МИИСК), базирующего на многоканальной оценке разнородных сигналов, является существенная зависимость измеренных величин от скорости их измерения и сложной взаимосвязи контролируемых процессов.

3. В МИИСК ограничено применение статистических методов обработки сигналов.

4. Анализ обстоятельств и фактов, когда не были получены желаемые параметры МИИСК, позволил выявить, что причина, как правило, в недостатке практического опыта и терпения для создания заново, по сравнению с привычной аналоговой техникой, нового кабельного хозяйства и интерфейса для правильной стыковки своих источников сигналов с конкретным АЦП МИИСК.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. W. Tompkins, J. Webster Interfacing sensors to the IBM^(R)/ University of Wisconsin-Madison, Prentice hall, New Jersey, 2001. 612 p.

2. Лопатин В.В. Проблемы помехоустойчивости низко потенциальных электрических измерений в горных выработках // Геотехническая механика: Межвед. науч.-техн. сб.- 2004., - Вып.48 –С. 274-278

3. Лопатин В.В. Анализ использования автономных источников питания в мобильных информационно-измерительных системах для шахтных подъемных комплексов// Геотехническая механика: Межвед. науч.-техн. сб. - 2004., - Вып. 50. – С. 188-194

4. Лопатин В.В. Математическая модель сигнала при контроле плавности движения подъемного сосуда в проводниках жесткой армировки // Геотехническая механика: Межвед. науч.-техн. сб. - 1999., - Вып. 11. – С. 348-351

УДК 550.8.07/08:553.94

Докт. техн. наук В.А. Гончаренко
(ИГТМ НАН Украины)

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ ПРОГНОЗА ЗОН СКОПЛЕНИЯ МЕТАНА НА УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ ДОНБАССА

На основі досліджень можливостей вугільного каротажу геологорозвідувальних свердловин виділені найбільш ефективні геофізичні критерії оцінки структурних і продуктивних параметрів прогнозованих зон скопчення метану у вуглепородному масиві.

GEOPHISICAL CRITERIA FOR THE FORECAST OF THE METHANE CONCENTRATION ZONES OF THE COAL DEPOSITS IN DONBASS

On the basis of the analysis of the coal well log possibilities of geological prospecting boreholes, there are established the most efficient geophysical criteria for the estimation of structural and productive parameters of the zones of prognosis of methane concentration in the coal-rock massive.

При прогнозе зон скопления метана (ЗСМ) в углепородном массиве основными объектами являются - угольные пласты, в которых газ находится в основном в сорбированном состоянии, и породы-коллекторы (как правило, песчаники), в которых газ находится в свободном состоянии. Основной составляющей формирования ЗСМ в ненарушенном углепородном массиве является тектонический фактор. При этом, на фоне пологого моноклиналиного залегания пород могут образовываться локальные синклиналиные и антиклиналиные структуры, представленные угольными пластами и вмещающими породами: коллекторами