Записки Ленинградского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени горного института им. Г.В.Плеханова,
1985, т. 106

УДК 622.831.3

ПОДЗЕМНАЯ РАДИОТЕЛЕМЕТРИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ИЗМЕРЕНИЯ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД

А.Л.ДРАБКИН, В.И.ЗЛАТКИН,
Р.М.ПРОСКУРЯКОВ, А.А.УСТАВНИКОВ

На ряде шахт и рудников имеется служба контроля сейсмического состояния шахтного поля. Сейсмографы непрерывно записывают сейсмические сигналы из разных участков шахты или рудника, характеризующие напряженное состояние горного массива. Описываемая разработка также предназначена для сбора информации о напряженном состоянии массива горных пород на локальных участках удароопасных угольных пластов.

Известны устройства измерения горного давления, содержащие датчики давления, соединенные с регистрирующими приборами с помощью проводных линий. Использование в системах непрерывного контроля напряженного состояния и удароопасности горных пород в массиве проводных линий для передачи информации в ряде случаев ограничивает или затрудняет применение этих систем. Это связано с тем, что источники информации (датчики) должны размещаться на наиболее напряженных, а значит и труднодоступных и опасных участках; к тому же проводные линии в процессе ведения горных работ (особенно методом взрывов) будут часто повреждаться. В связи с этим в некоторых случаях более целесообразно использовать для передачи информации беспроводные линии (радиоканалы).

Известна беспроводная (радиотелеметрическая) система для контроля за изменением давления в горном массиве[x]. Эта система предполагает использование специальных датчиков типа ДДП (разработки ВНИИ метрологии им.Менделеева), принцип действия которых основан на преобразовании горного давления в переменный электрический ток звуковой частоты. Система требует участия оператора в записи результатов измерений, получаемых от каждого отдельного датчика и, таким образом, не позволяет быстро получить информацию о напряженном состоянии в разных точках массива горных пород за короткий промежуток времени. В описываемой ниже системе сбор информации автоматизирован и может осуществляться без участия оператора через запрограммированные промежутки времени.

Для контроля за напряженным состоянием массива горных пород в предложенной системе могут быть использованы различные датчики, на выходе которых возникает электрическое напряжение постоянного тока, возрас-

[x] В.В.Дьяков, Н.М.Корякин, С.Г.Кушкин. Подземная радиотелеметрическая система для контроля за изменением давления в горном массиве. – Безопасность труда в промышленности, 1979, № 7.

тающее с увеличением горного давления. Одним из возможных методов оценки напряженного состояния участков массива горных пород является сейсмоакустический метод, основанный на измерении уровня акустической эмиссии (т.е. энергии собственных акустических излучений) горного массива (с преобразованием акустических импульсов в напряжение постоянного тока). Такие акустические датчики разработаны во ВНИМИ. Для контроля за напряженным состоянием горного массива вокруг выработок соответствующие датчики необходимо разместить в разных точках массива и получаемую на их выходе информацию передать на центральный пункт приема информации.

Для передачи информации от места расположения датчиков до центрального пункта приема информации было признано целесообразным использовать серийно выпускаемую аппаратуру подземной радиосвязи. На первом этапе работы для этого применялась радиостанция типа «Донецк IM".

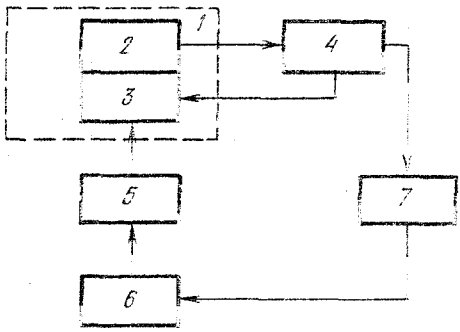


Рис.1. Структурная схема аппаратуры в месте расположения каждого акустического датчика

На рис.I представлена структурная схема аппаратуры в месте расположения каждого датчика (I – приемо-передающее устройство, состоящее из приемника 2 и передатчика 3 с общей многовитковой рамочной антенной; 4 – регулятор момента кратковременного включения передатчика, вход и один выход которого соединены с приемо-передающим устройством; 5 – преобразователь изменения электрического напряжения в изменение низкой частоты, выход которого соединен с входом передатчика 3, а вход с выходом акустического датчика 6: 7 – формирователь импульса сброса, вход которого соединен с регулятором времени запуска 4, а выход с датчиком 6.

Приемо-передающее устройство I является серийной радиостанцией подземной связи, например типа «Донецк IM" или «Кварц".

Регулятор 4 момента кратковременного включения передатчика состоит (рис.2) из преобразователя выходного напряжения звуковой частоты 8 приемника 2 в прямоугольный импульс (такой преобразователь реализуется, например, с помощью интегральной микросхемы КI76ЛА7); кварцевого генератора 9, вход которого соединяется с выходом преобразователя 8, счетчика импульсов IO, например, на интегральной микросхеме КI76ИЕ8,

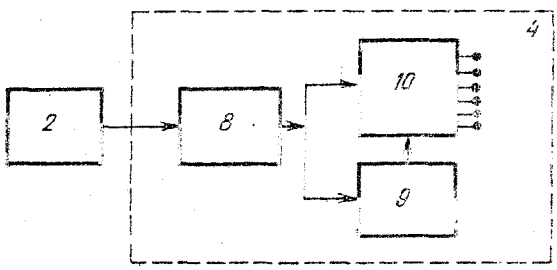


Рис.2. Структурная схема регулятора момента кратковременного включения передатчиков информации

вход которого соединен с выходом преобразователя 8. Различные выходы счетчика импульсов I0 соединяются через реле со своими передатчиками (размещенными в разных точках горного массива). Этим обеспечивается поочередное включение и выключение передатчиков, так как напряжение на разных выходных зажимах счетчика получается через определенные интервалы времени. Один из выходных зажимов счетчика I0 соединен с формирователем импульса сброса 7 (рис.I), который выполнен на интегральной микросхеме КI76ЛА7.

Преобразователь 5 (рис.3) содержит: интегратор II, собранный на операционном усилителе (например, на основе интегральной микросхемы К533УДI), на вход которого поступает напряжение постоянного тока от датчика 6 (рис.I); спусковое устройство I2, собранное также на операционном усилителе, и формирователь I3 на интегральной микросхеме КI76ЛА7; выход устройства I2 соединен с входом интегратора II цепью обратной связи I4; вход формирователя I3 соединен с выходом спускового устройства I2. Напряжение низкой частоты с выхода формирователя I3 (частота которого зависит от значения напряжение на входе II) подается как модулирующее на вход передатчика 3.

Датчик (рис.4) содержит преобразователь I5 упругих колебаний в электрические сигналы, истоковый повторитель I6, полосовой фильтр I7, усилитель I8, пороговое устройство I9, селектор 20, счетчик 2I, цифроаналоговый преобразователь 22.

Сигналы акустической эмиссии принимаются преобразователем I5 и преобразуются им в электрические сигналы, представляющие собой пакет импульсов. Преобразователь I5 собран на основе пьезокерамики ЦТС-I9 и имеет полосу рабочих частот I0-50 кГц. Электрические сигналы с преобразователя I5 поступают через истоковый повторитель I6 с входным сопротивлением 3 мОм на вход полосового фильтра I7, имеющего полосу пропускания I0-50 кГц. Усилитель I8 имеет малый уровень собственных шумов и коэффициент усиления I000. Сигналы с выхода усилителя поступают на вход порогового устройства I9, собранного на

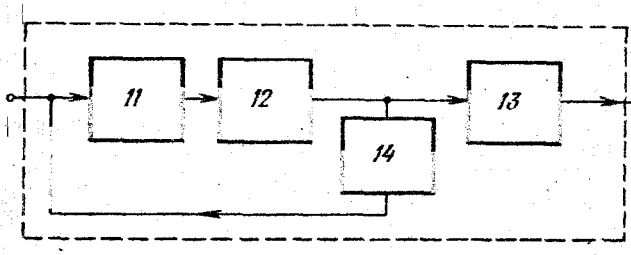


Рис.3. Структурная схема преобразователя изменения напряжения в изменение частоты

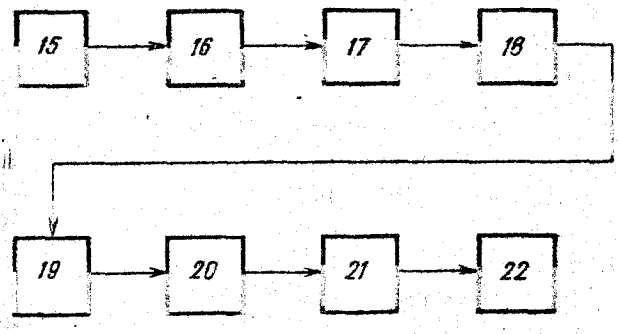


Рис.4. Структурная схема акустического датчика

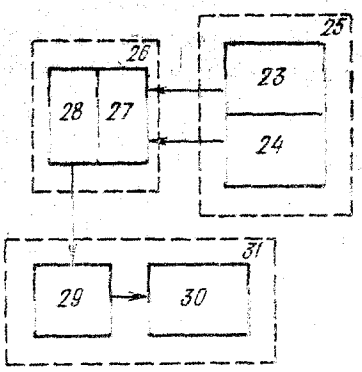


Рис.5. Структурная схема аппаратуры на центральном пункте приёма информации

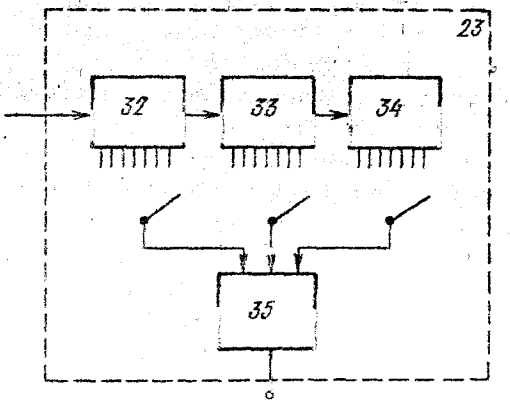


Рис.6. Структурная схема автоматического устройства периодического запуска системы

интегральном компараторе К521СА3 и имеющего порог срабатывания 20 мВ. Селектор 20 служит для выделения сигналов, соответствующих одному акту эмиссии. Сигналы, соответствующие актам эмиссии, поступают на счетчик 2I, который содержит 8 двоичных разрядов и служит для определения количества актов акустической эмиссии за время между импульсами запуска. Информация, накопленная на счетчике, поступает на вход цифро-аналогового преобразователя 22, с выхода которого снимается напряжение, пропорциональное числу актов эмиссии. Таким образом, в зависимости от уровня интенсивности акустической эмиссии будет изменяться напряжение постоянного тока, подаваемое на вход преобразователя 5 (рис.I).

Схема на рис.5 содержит автоматическое устройство периодического запуска 23, звуковой генератор 24 (совокупность 23 и 24 будем называть диспетчерским аппаратом 25), приемо-передающее устройство 26, содержащее передатчик 27 и приемник 28, частотомер 29 и самописец 30; последовательно соединенные между собой частотомер 29 и самописец 30 представляют собой регистрирующее устройство 3I.

Блоки 32, 33 на рис.6 являются делителями частоты следования импульсов, собранными на одинаковых интегральных схемах КI76ИЕ8. На вход блока 32 с кварцевого генератора после предварительного деления частоты поступают импульсы с периодом повторения в одну минуту. На его соответствующих выходных зажимах будут поочередно возникать импульсы через одну, две и до десяти минут. На последнем зажиме блока 32 период следования импульсов будет равен I0 мин. Последний зажим соединяется с входом блока 33, на выходных зажимах которого будут возникать импульсы через I0, 20 мин. и т.д. (до 60 мин.). Последний зажим блока 33 соединяется с входом блока 34, на выходных зажимах которого, таким образом, будут возникать импульсы через один, два часа и т.д. (до I0 ч). К выходным зажимам блоков 32, 33, 34 подключены галетные переключатели, которые соединяют

соответствующие выходные зажимы блоков с тремя входами схемы совпадения 35. При совпадении всех трех импульсов напряжения от указанных блоков на выходе схемы 34 получится импульс сброса, который переключит приемо-передающее устройство 26 на передачу и обеспечит излучение сигнала запуска, т.е. начало опроса всех источников информации (датчиков). Такой цикл опроса будет автоматически повторяться через установленный интервал времени.

Рассмотрим работу всей радиоэлектронной аппаратуры сбора, передачи и приема информации в целом.

Автоматическое устройство на центральном пункте по заданной программе периодически включает передатчик 27 и звуковой генератор запуска 24, который является модулятором этого передатчика. Модулированные колебания излучаются системой приемо-передающего устройства в течение короткого промежутка времени (например, 4 с). Этот высокочастотный сигнал запуска будет приниматься практически одновременно всеми приемниками 2 приемо-передающих устройств I, расположенными вместе со своими датчиками 6 в различных точках горного массива, однако передатчики этих станций будут срабатывать в разные моменты времени, так как принятый сигнал включает регулятор момента включения 4 соответствующего передатчика 3, который через запрограммированный промежуток времени включается на заданный отрезок времени (например, на 2 с). В это же время на модулятор передатчика 3 будут поступать звуковые колебания, образующиеся на выходе преобразователя 5, вход которого соединен с датчиком 6. Частота этих звуковых колебаний, в дальнейшем измеряемых на пункте приема информации, будет характеризовать напряженное состояние горного массива в окрестностях расположения датчика. Выход регулятора 4 соединяется также с устройством 7 (формирователь импульса сброса), которое после окончания времени работы данного передатчика (после его выключения) обеспечивает приведение акустического датчика в исходное (нулевое) состояние.

Таким образом, после получения сигнала запуска поочередно включаются и выключаются все передатчики, размещенные вместе со своими датчиками в разных точках горного массива. Излучаемые информационные сигналы будут поочередно приниматься приемником 28 на пункте приема информации.

В зависимости от напряженного состояния массива горных пород будет изменяться электрическое напряжение на выходе датчиков 6 и, соответственно, звуковая частота модулирующего напряжения в передатчиках, поэтому частота звуковых колебаний на выходе приемника будет также изменяться в соответствии с напряженным состоянием горного массива. Эта частота измеряется частотомером 29. Напряжение с выхода частотомера поступает на самописец 30 и отображается на его ленте. Вследствие разделения во времени сигналов, приходящих на приемник 28 от датчиков, размещенных в разных точках массива горных пород, на ленте самописца будет отображаться поочередно от каждого датчика информация о напряженном состоянии массива в упомянутых точках.

Подробные электрические схемы разработанной аппаратуры приведены и описаны в отчетах ЛГИ[x].

В процессе работы были изготовлены макеты соответствующей аппаратуры. Объединенный макет, содержащий автоматический переключатель каналов, преобразователь напряжения в частоту, акустический датчик и радиостанцию „Донецк ІМ", в дальнейшем для сокращения будем называть аппаратом источника информации. Размеры корпуса аппарата 200 х 200 х 300 мм.

Был также изготовлен макет автоматического устройства периодического включения сигналов запуска системы опроса вместе со звуковым генератором и блоком питания, для сокращения указанный макет называется диспетчерским аппаратом. Его размеры 70 х 40 х 170 мм.

Диспетчерский аппарат совместно с радиостанцией „Донецк ІМ", частотомером и самописцем образуют комплект аппаратуры на центральном пункте приема информации.

Для проверки работы акустического датчика совместно с преобразователем напряжения в частоту была собрана схема, содержащая: акустический датчик, состоящий из выносного преобразователя упругих колебаний в электрические сигналы, и акустический счетчик с преобразователем импульсных сигналов в напряжение постоянного тока; преобразователь напряжения в частоту, на вход которого подавалось напряжение с выхода датчика и был включен вольтметр постоянного тока, а на выход – частотомер и осциллограф.

После легких постукиваний по преобразователю упругих колебаний на выходе акустического датчика небольшими скачками изменяли напряжение V от 0 до 5 В. Это напряжение создавало на выходе преобразователя „напряжение в частоту" колебания, частота которых изменялась в пределах от 300 до 3000 Гц. На экране осциллографа при этом наблюдались синусоидальные колебания изменяющейся звуковой частоты.

Лабораторное испытание аппаратуры передачи и приема информации проводилось следующим обарзом. На столах № I и № 2, отстоящих друг от друга на расстоянии в несколько метров, размещалась аппаратура, относящаяся к двум разным источникам информации (акустические датчики № I и № 2). Структурная схема аппаратуры в месте расположения каждого датчика приводилась на рис.I.

На столе № 3, удаленном от столов № I и № 2 на расстояние в несколько метров, располагалась аппаратура центрального пункта приема информации, состоящая из диспетчерского аппарата, приемо-передающей радиостанции „Донецк ІМ", частотомера и самописца. Структурная схема соединения этой аппаратуры приводилась на рис.3.

Первоначально была произведена проверка работы автоматического устройства периодического запуска всей системы. Автомат запуска работает как электронные часы. Для проверки его работы было включено напряжение питания и галетные переключатели на блоках 32, 33, 34 (см.рис.6) установ-

---

[x] Разработка системы сбора информации о напряженном состоянии массива горных пород и системы автоматического управления добычными механизмами при выемке удароопасных угольных пластов. Отчет /ЛГИ. Руководитель работы В.И.Златкин. № ГР 01824084254. Л., 1984.

лены в требуемое положение, определяющее период повторения цикла работы (запуска) системы. Для проверки работы был установлен период в 10 мин. После начала работы автомата и соответствующего включения системы на светящихся табло (в окошках) загорались цифры текущего времени – через 1 мин загорается цифра 1, через 2 мин – цифра 2 и т.д. до 10 мин. По истечении 10 мин цикл заканчивался, система включалась заново и счет времени начинался сначала.

После включения общего напряжения питания от сети 220 В в продолжение нескольких минут аппаратура (частотомер, самописец, блок питания диспетчерского аппарата) прогревалась. Затем нажималась кнопка «сброс" (на диспетчерском аппарате). С этого момента начинался отсчет времени и автоматически включались передатчик радиостанции на диспетчерском пункте (на столе № 3) и звуковой генератор вызывного сигнала. Высокочастотный сигнал радиостанции, модулированный звуковым генератором, излучался с диспетчерского пункта и одновременно принимался двумя радиостанциями, размещенными в пунктах источников информации (на столах № 1 и № 2). Приемники этих радиостанций должны быть постоянно включены на прием. Через 4 с после включения кнопки «сброс" радиостанция источника информации № 1 (на столе № 1) автоматически переключалась с приема на передачу и в продолжение 2 с излучала высокочастотные колебания, модулированные информационным сигналом с выхода датчика № 1. Этот информационный сигнал получался в результате легкого постукивания по преобразователю упругих колебаний, вынесенному за пределы аппарата источника информации. Эти упругие колебания после ряда преобразований, рассмотренных выше, создают модулирующий информационный сигнал, частота которого зависит от уровня акустических шумов и должна в подземных условиях характеризовать напряженное состояние массива горных пород.

Модулированные колебания источника информации № 1 принимаются в продолжение 2 с приемником диспетчерского пункта, вызывают отклонение стрелки частотомера, включенного на выходе приемника и отображаются на ленте самописца, соединенного с частотомером.

Через 8 с после начала отсчета времени автоматически переключалась с приема на передачу радиостанция источника информации № 2 (расположенного на столе № 2), и в течение 2 с излучала высокочастотные колебания, модулированные сигналом источника информации № 2. Эти модулированные колебания также принимались в продолжение 2 с приемником радиостанции на диспетчерском пункте, вызывали новое отклонение стрелки частотомера и отображались на ленте самописца. Через запрограммированное время цикл измерений автоматически повторялся.

Испытания подтвердили работоспособность разработанной радиоэлектронной системы автоматизированного сбора и передачи информации от акустических датчиков в лабораторных условиях. Следующим этапом работы должно быть испытание аппаратуры в производственных условиях.