



ГЕОМЕХАНИКА И ЕЕ ПРИЛОЖЕНИЯ

МОДУЛЬНАЯ ШАХТНАЯ СЕЙСМОРАЗВЕДОЧНАЯ СТАНЦИЯ

**А. В. Анциферов¹, Л. А. Камбурова¹, В. В. Туманов¹,
Г. П. Мартынов¹, А. Ю. Гладков², Ю. А. Балакин³**

¹*Республиканский академический научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт горной геологии, геомеханики, геофизики и маркшейдерского дела,*

E-mail: ranimi@ranimi.org, tum.v@yandex.ru, oemi@list.ru,

ул. Челюскинцев 291, г. Донецк 283004, Донецкая Народная Республика

²*Макеевский научно-исследовательский институт по безопасности работ в горной промышленности, E-mail: gladkov555@rambler.ru,*

ул. Лихачева 60, г. Макеевка 286132, Донецкая Народная Республика

³*ООО "Изыскатель" E-mail: balakin@tisiz.ru,*

ул. Маяковского 1, г. Ставрополь 355012, Россия

Разработана модульная многоканальная шахтная сейсморазведочная станция. Дано краткое ее описание. Предложены схемотехнические решения, обеспечивающие особо взрывобезопасный уровень взрывозащиты РО (Ма).

Шахтные сейсмические станции, микропроцессоры, искробезопасная электрическая цепь

MODULAR SEISMIC ACQUISITION SYSTEM FOR EXPLORATION IN MINES

**A. V. Antsiferov¹, L. A. Kamburova¹, V. V. Tumanov¹,
G. P. Martynov¹, A. Yu. Gladkov², and Yu. A. Balakin³**

¹*Republican Academic Research and Design Institute of Mining Geology,
Geomechanics, Geophysics and Mine Surveying*

E-mail: ranimi@ranimi.org, tum.v@yandex.ru, oemi@list.ru,

ul. Chelyuskintsev 291, Donetsk 283004, Donetsk People's Republic

²*Makeevka Research Institute for Mining Safety, E-mail: gladkov555@rambler.ru,*

ul. Likhachyova 60, Makeyevka 286132, Donetsk People's Republic

³*Iziskatel LLC, E-mail: balakin@tisiz.ru,*

Mayakovskogo 1, Stavropol 355012, Russia

A modular multi-channel seismic acquisition system for exploration in mines is developed. A brief description of the seismic station is given. Circuit design solutions providing a special explosion-proof level of protection PO (Ma) are proposed.

Seismic acquisition systems for exploration in mines, microprocessors, intrinsically safe electrical circuit

В настоящее время шахтная сейсморазведка занимает ведущее место в геофизических исследованиях на угольных предприятиях. Прогноз горно-геологических условий добычи угля, безопасность работ в шахтах всех категорий, в том числе и сверхкатегорийных, опасных по выбросам газа, пыли, угля и породы. На решение проблем техногенной безопасности в шахтах и на поверхности прилегающих территорий, особенно в условиях городской застройки, направлены сейсмические исследования.

Отдел эколого-геофизических исследований Республиканского академического научно-исследовательского и проектно-конструкторского института горной геологии, геомеханики, геофизики и маркшейдерского дела (РАНИМИ) много лет специализируется в области разработки специализированной шахтной геофизической аппаратуры и сотрудничает с Макеевским научно-исследовательским институтом по безопасности работ в горной промышленности (МакНИИ) по вопросам взрывозащищенного исполнения аппаратуры. Ощутимые геофизические наработки также получены в совместных исследованиях с ООО “Изыскатель”. Опыт эксплуатации сейсмостанций в Донбассе и за его пределами дает идеи для новых разработок.

За годы работы с аппаратно-аналитическим комплексом ААК12 во взрывозащищенном исполнении, допущенного к исследованиям в шахтах всех категорий, в том числе сверхкатегорийных (разработка УкрНИМИ 2012 г.), а также в последующие годы совершенствования и модернизации ААК12 [1] появилась возможность создания новой модульной многоканальной шахтной сейсморазведочной станции (ШС).

Известная 24-разрядная шахтная сейсмостанция “SUMMIT II Ex” немецкой фирмы DMT построена по принципу регистрации сигналов отдельными модулями без использования традиционных сейсмических кос, однако вес станции, указанный в технических характеристиках, реально явно занижен [2]. Полный комплект со всеми модулями, датчиками и кабельным хозяйством имеет вес более 200 кг и поэтому транспортировка его к месту исследования вызывает дополнительные сложности (наличие контейнеров для упаковки, заказ вагонеток для доставки).

Модульная многоканальная шахтная сейсморазведочная станция впервые создана в РАНИМИ и является идеологическим продолжением разработок шахтных сейсмостанций отдела (СШ12 и ААК12), но не имеет традиционных сейсмических кос. Схема подключения модульной многоканальной шахтной сейсмостанции без комплекта синхронизации и связи представлена на рис. 1.

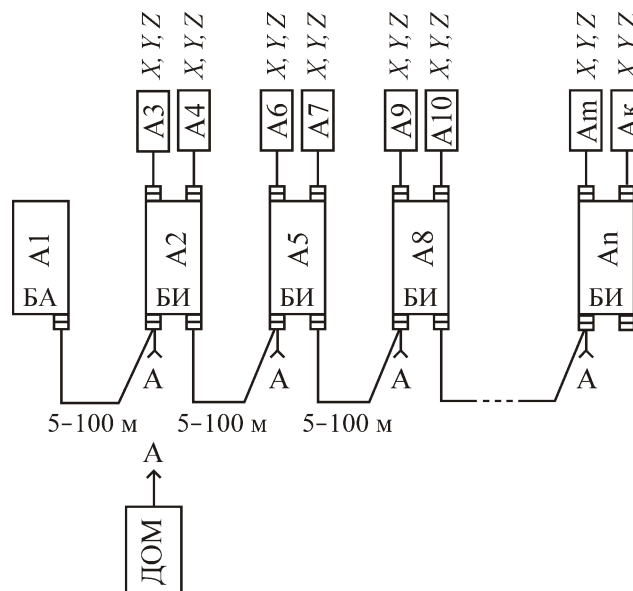


Рис. 1. Схема подключения модульной многоканальной сейсморазведочной станции без комплекта синхронизации и связи

Многоканальная сейсморазведочная станция имеет блок анализа (БА) с экраном и клавиатурой для управления всеми режимами работы сейсмостанции и идентичные блоки измерительные (БИ) для регистрации данных. К каждому БИ подключаются непосредственно два (А3, А4, А6, А7, А9, А10 и т. д.) трехкомпонентных (X, Y, Z) или шесть однокомпонентных сейсмодатчиков (СП). Возможно соединение до 50 блоков БИ. Оцифровка данных происходит одно-

временно во всех измерительных блоках по сигналу датчика отметки момента (ДОМ), который располагается у источника возбуждения сейсмического сигнала. При перемещении источника возбуждения упругих волн ДОМ можно подключить к любому БИ.

Обмен информацией между БА и БИ осуществляется по интерфейсу RS-422, поэтому максимальная удаленность БА от последнего БИ составляет 1200 м. Максимальное количество (50) подключаемых БИ определяется возможностью используемых микросхем ADM2486 — драйверов RS-422. Для организации передачи данных на большое расстояние рекомендуется использовать экранированную витую пару, чтобы избежать влияния сторонних электромагнитных полей.

На рис. 2 показана шахтная сейсмостанция с пятью блоками измерительными, устройствами связи и синхронизации. В блоке анализа применен цветной TFT дисплей фирмы RIVERDI (Польша) с диагональю экрана 4.3 дюйма и мембранная клавиатура SK-16 Testa Standart. В блоках измерительных шахтных сейсморазведочных станций используются эффективные 24 разряда оцифровки данных (параллельное АЦП 12 бит + ЦАП 12 бит).



Рис. 2. Комплект шахтной сейсморазведочной станции с пятью блоками измерительными, устройствами связи и синхронизации

Комплект синхронизации и связи предназначен для передачи сигнала синхронизации начала процесса записи сейсмосигналов, а также голосовой связи между оператором и помощником при удалении от блоков измерительных (регистрирующих), выполняющим сейсмическое возбуждение ударным способом исследуемого горного массива.

В многоканальной сейсморазведочной станции применен наиболее эффективный вид взрывозащиты “искробезопасная электрическая цепь “1”, поскольку он дает возможность достичь:

— очень высокий уровень взрывозащиты оборудования Ма, который позволяет изделиям совершенно безопасно функционировать без снятия напряжения на них в присутствии взрывоопасной атмосферы (автономное питание от аккумуляторов);

— как правило минимальные габариты и вес оборудования, а также затраты на его изготовление и эксплуатацию при максимальных эксплуатационных удобствах и технологичности изготовления (актуально для переносного оборудования).

Следует отметить, что конструктивные и схемотехнические решения ШС соответствуют требованиям Технического регламента таможенного союза ТР ТС 012/2011 [3].

Обеспечение искробезопасности аккумуляторной батареи, на первый взгляд, сводится к банальному ограничению ее силы тока короткого замыкания, например, с помощью блока искрозащиты (БИЗ) с нелинейной нагрузочной характеристикой [4]. Запрет применения последовательных управляемых полупроводниковых токоограничительных устройств [5] препятствует реализации указанной структуры БИЗ, способной максимально использовать полезную искро-

безопасную мощность. Разрешенные стандартом схемы с ограничительным резистором характеризуются низким коэффициентом использования искробезопасной мощности в нагрузке, а также неприемлемыми колебаниями выходного напряжения при изменении тока в нагрузке.

В результате исследований разработана и реализована в многоканальной сейсморазведочной станции модернизированная схема блока искрозащиты аккумуляторов с высоким коэффициентом использования предельной искробезопасной мощности за счет применения последовательного управляемого полупроводникового элемента VT2 (рис. 3). Противоречие с требованиями стандарта снято за счет реализации дополнительного шунтирующего узла на VT4, обеспечивающего защиту от превышения силы тока в нагрузке.

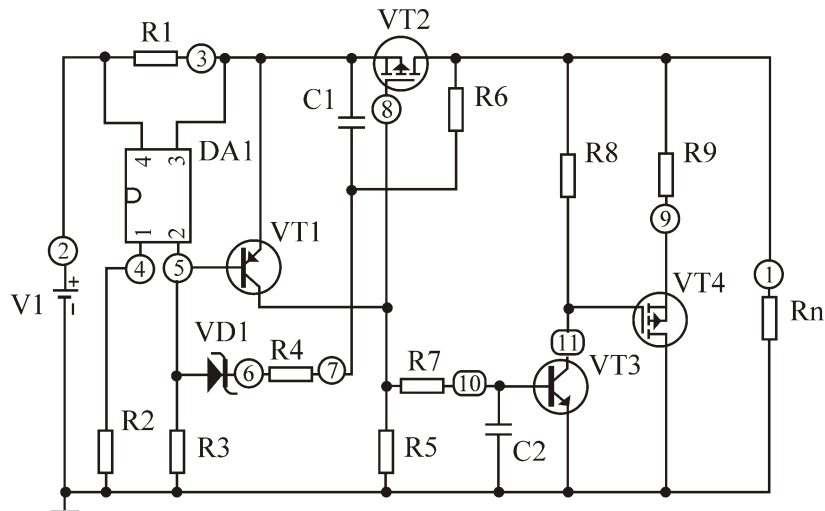


Рис. 3. Модернизированная схема блока искрозащиты аккумуляторов

Блок искрозащиты состоит из линейного датчика тока R1; компаратора DA1, сравнивающего уровень силы тока с пороговым значением; исполнительного узла VT1, который воздействует на последовательные и шунтирующие транзисторные ключи VT2, VT4 при превышении уставки по току; узла задержки сигнала на срабатывание VT3 (R7, C2), который необходим для синхронизации момента срабатывания по времени VT2 и VT4; элементов VD1, R4, R6, C1, обеспечивающих загиб вольтамперной характеристики при срабатывании защиты по току; ограничительного резистора R9 для защиты VT4 от превышения импульсного тока.

С ростом силы тока в нагрузке, вплоть до значения уставки 660 мА, падение напряжения на R1 и сток-исток VT2 трех последовательно включенных узлов БИЗ, с учетом требований [5], составляет не более 0.21 В. Отсутствует также режим стабилизации тока и соответственно нагрев ключа VT2.

Коэффициент использования мощности короткого замыкания [5]:

$$k = \frac{I_H \cdot U_H}{I_{кз} \cdot U_{ХХ}} = \frac{0.66 \cdot 8.79}{0.66 \cdot 9} = 0.98,$$

где I_H — ток нагрузки, А; $I_{кз}$ — ток короткого замыкания, А; U_H — напряжение при протекании I_H , В; $U_{ХХ}$ — напряжение в холостом ходу, В.

Значение коэффициента k , близкое к 1 подчеркивает идеальную вольтамперную характеристику (ВАХ) блока искрозащиты. Анализ линейной ВАХ показал, что при достижении предельно-допустимого напряжения для нагрузки 6.5 В сила тока составляет 506 мА, что меньше значения при нелинейной ВАХ. Таким образом, в ШС применена схема БИЗ, обеспечивающая выходную мощность не менее 5.8 Вт с учетом троирования рассматриваемых защитных узлов и уровня напряжения 9 В на полностью разряженных аккумуляторах, что в 1.7 раза больше, чем выходная мощность при линейной схеме ограничения силы тока (3.3 Вт).

Вес блока анализа 1.1 кг, блока измерительного — 0.9 кг. Вес ШС с кабельным хозяйством и датчиками небольшой, например, суммарный вес ШС с кабельным хозяйством и датчиками подобными комплекта ААК12 составляет не более 20 кг, поэтому 2–3 человека могут уложенную в рюкзаки сейсмостанцию доставить в шахту в необходимое место исследования. Если использовать более дорогой, но облегченный вариант кабеля, а также облегченный вариант СП на базе геофонов, то можно значительно уменьшить суммарный вес.

Практика эксплуатации в институте сейсмического оборудования показала необходимость создания и новых компьютерных (для ОС Windows) и микропроцессорных (для AVR фирмы Atmel) программ, в том числе и тех их фрагментов, которые отвечают за эргономические требования на уровне пользовательского интерфейса — человек – прибор.

Программный сервис блока анализа ШС (рис. 4) и блоков измерительных позволяет устанавливать параметры работы сейсмостанции и записи файла данных сейсмического сигнала, просматривать на дисплее блока анализа ШС записанные сейсмограммы, осуществлять мониторинг сигнала в реальном времени и проводить предварительный анализ. Блок анализа ШС автоматически определяет, какие блоки БИ подключены на интерфейсной линии. Микропроцессорное программное обеспечение написано по модульному принципу с использованием процедур и функций.

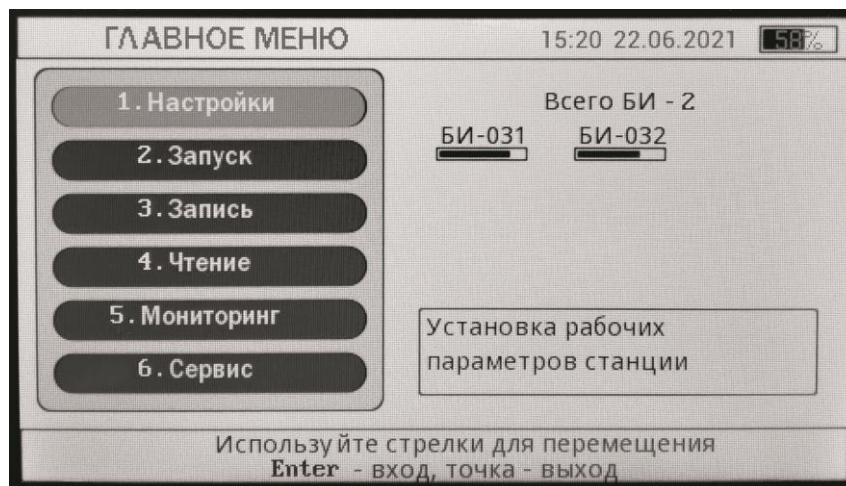


Рис. 4. Главное меню ШС с подключенными двумя измерительными блоками

Программная реализация меню сейсморазведочной станции организована страницами. Под страницей подразумевается некоторое состояние, в котором находится программа в выбранный момент времени. В каждой странице есть процедура инициализации, процедура визуального отображения и процедура реакций. В страницах используется структурированный комбинированный тип данных (record) языка программирования Паскаль, состоящий из двух компонент (полей) процедурного типа, которые принимают адреса процедур визуализации и реакции. Переход между страницами осуществляется путем переназначения полей-ссылок этой записи на процедуры визуализации и реакции той страницы, на которую нужно перейти, и запуском процедуры инициализации. Программа ожидает в главном цикле какого-либо внешнего воздействия. Нажатие кнопки на клавиатуре БА или получение сообщения по интерфейсу RS-422 активируют необходимый флаг, обработка которого происходит в главном цикле. Процедуры используют условные операторы, которые выделяют несколько блоков инструкций, каждый из которых соответствует одному конкретному источнику события. Такая программная реализация позволяет, даже находясь в меню с несколькими уровнями вложенности, практически все время тратить в коротком основном цикле, ожидая события и оперативно с минимальным временем их обрабатывая.

ВЫВОДЫ

В Республиканском академическом научно-исследовательском и проектно-конструкторском институте горной геологии, геомеханики, геофизики и маркшейдерского дела впервые в ДНР и Украине разработана модульная многоканальная шахтная сейсморазведочная станция без традиционных сейсмических кос. Найдены эффективные схмотехнические решения ограничения силы тока аккумуляторов до искробезопасных параметров на управляемых шунтирующих полупроводниках без нагретых элементов, соответствующие требованиям межгосударственного стандарта ГОСТ 31610.11-2014. Это дает возможность обеспечить низкие массогабаритные показатели составных частей ШС и особовзрывобезопасный (очень высокий) уровень взрывозащиты РО в соответствии с требованиями технического регламента Таможенного союза и Евразийского экономического сообщества (ЕАЭС) ТС 012/2011 “О безопасности оборудования для работы во взрывоопасных средах”. Небольшой вес позволяет доставлять многоканальную сейсморазведочную станцию в шахте в рюкзаках в необходимое место исследования. Возможна облегченная версия кабельного хозяйства и датчиков.

Создано программное обеспечение для микропроцессоров шахтной сейсморазведочной станции, с помощью которого можно, находясь в основном цикле, ожидать события и оперативно с минимальным временем их обрабатывать.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. **Tumanov V. V. and Martynov G. P.** Evolution of the autonomous hardware-analytical complex AAK12 for seismic exploration in mines, 50 years of the Russian Scientific School of Integrated Development of the Earth's Interior, Proceedings of the International Scientific and Practical Conference, Moscow, Research Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources, Russian Academy of Sciences, 2017, pp. 251 – 254. [Туманов В. В., Мартынов Г. П. Развитие автономного аппаратно-аналитического комплекса ААК12 для шахтной сейсморазведки // 50 лет Российской научной школе комплексного освоения недр Земли: сб. трудов Междунар. науч.-практ. конф. — М.: ИПКОН РАН, 2017. — С. 251 – 254.]
2. **SUMMIT II Ex** [Electronic resource]. Available at <https://geodevice.ru/main/seismic/station/summit-iiex> Title from the screen (date of request 23.06.2021) [SUMMIT II Ex [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://geodevice.ru/main/seismic/station/summit-iiex>. – Загл. с экрана (дата обращения 23.06.2021).]
3. **Technical Regulations** of the Customs Union TR TS 012/2011 On the safety of equipment for working in explosive environments. Approved by the decision of the Customs Union Commission on 18.10.2011, no. 825, 33 pp. [Технический регламент таможенного союза ТР ТС 012/2011. О безопасности оборудования для работы во взрывоопасных средах. – Утв. решением Комиссии Таможенного союза от 18.10.2011, № 825. — 33 с.]
4. **Gladkov A. Yu. and Bershadsky I. A.** Features of intrinsically safe power supplies, Zavalishinsky Readings, St. Petersburg, Saint Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, 2016, pp. 30–33. [Гладков А. Ю., Бершадский И. А. Особенности искробезопасных источников питания // Завалишинские чтения: сб. докладов. — СПб.: ГУАП, 2016. — С. 30–33.]
5. **GOST 31610.11-2014 (IEC 60079-11:2006).** Electrical Apparatus for Explosive Gas Atmospheres. Part 11. Intrinsically-safe circuit “i”. Introduced on 11.12.2016. Moscow, Russian scientific and technical centre for information on standardization, metrology and conformity assessment Standartinform, 2014, 91 pp. [Электрооборудование для взрывоопасных газовых сред. Ч. 11. Искробезопасная электрическая цепь “i”. Введ. в 11.12.2016. — М.: ФГУП Стандартинформ, 2014. — 91 с.]