

**М.Г. Тиркель, В.В. Туманов, А.И. Архипенко,
Н.В. Хлюстов, А.В. Савченко, Н.Б. Молошникова**

Украинский государственный научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт горной геологии, геомеханики и маркшейдерского дела НАН Украины, Донецк

ШАХТНЫЙ ПОРТАТИВНЫЙ АНАЛИЗАТОР «ШАИ-8» ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ И АНАЛИЗА СИГНАЛОВ ЕСТЕСТВЕННОГО ИМПУЛЬСНОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ В ГОРНЫХ ВЫРАБОТКАХ



Описан принцип построения и функциональные возможности узлов и блоков аналоговой и цифровой обработки сигналов шахтного портативного анализатора «ШАИ-8». Представлено краткое описание встроенного программного обеспечения для управления основными функциями анализатора, визуализации текущих измерений, сохранения результатов измерения для последующего анализа и обработки в стационарных условиях. Приведены основные технические характеристики анализатора.

Ключевые слова: взрывозащита, искробезопасная электрическая цепь, импульсное электромагнитное поле, шахтный портативный анализатор

Известно, что следствием механоэлектрических преобразований в минералах и горных породах являются электрические разряды, которые сопровождаются импульсным электромагнитным излучением [1]. Напряженность естественного импульсного электромагнитного поля (ЕИЭМП) определяется как результат сложения полезной составляющей, обусловленной деформационными процессами в массиве горных пород, и сигнала-помехи от источников иной физической природы, к которым могут относиться электромагнитные поля космического, ионосферного, атмосферного и искусственного происхождения. Нарушение нормальной периодичности каждого из источников электромагнитного излучения вызыва-

ет изменения напряженности ЕИЭМП. Поэтому при использовании естественных импульсных электромагнитных полей необходимо учитывать такие их особенности, как шумовой характер регистрируемого сигнала, крайнюю нестабильность во времени; наличие явно выраженного суточного хода; присутствие в регистрируемом потоке мощных импульсов от искусственных электромагнитных, в том числе радиоволновых, источников. Предполагается, что часть электромагнитных импульсов в углепородном массиве проявляется как следствие геодинамических явлений, позволяющая по интенсивности и амплитуде импульсов (энергетический показатель ЕИЭМП) судить о пространственном распределении напряженного состояния углепородного массива [2]. Увеличение этого показателя в горных выработках отмечается, как правило, на участках выбросов угля, породы, газа и т.п., а уменьшение

может быть связано с интенсивной трещиноватостью и увлажненностью пород.

В настоящее время для прогноза геодинамических явлений и изучения напряженно-деформированного состояния горных пород на основе метода ЕИЭМП используются различные приборы («РВИНДС», «Демон», «Симеиз» и др.). Однако практически все они не приспособлены к шахтным условиям, изготовлены зачастую на устаревшей элементной базе, а существующие единичные разработки в шахтном исполнении (например, аппаратура «Ангел», Россия) не отвечают современным требованиям оперативности и качества прогноза. Поэтому создание новой конкурентоспособной аппаратуры для прогноза газодинамической опасности отдельных участков угольного пласта с целью обеспечения безопасной и стабильной добычи угля является актуальным и безусловно имеет научно-практическое значение. Такая аппаратура, получившая название «ШАИ-8», была разработана в 2010 г. в Украинском государственном научно-исследовательском и проектно-конструкторском институте горной геологии, геомеханики и маркшейдерского дела (УкрНИМИ) НАН Украины в рамках выполнения научно-технического проекта «Розробка шахтного портативного аналізатора електромагнітних імпульсів для виявлення ділянок вуглепородного масиву, потенційно небезпечних за газодинамічними явищами».

При разработке аппаратуры «ШАИ-8» особое внимание было уделено обеспечению взрывозащиты, поскольку она должна соответствовать требованиям нормативно-правовых актов Украины по охране труда и промышленной безопасности для возможности проведения исследований в угольных шахтах всех категорий, в том числе и сверхкатегорийных, опасных по газу и/или угольной пыли [3, 4, 5].

Уровень взрывозащиты аппаратуры «Рудничное особо взрывозащищенное электрооборудование» реализован путем применения вида взрывозащиты «искробезопасная электрическая цепь» [6]. Безопасные свойства аппарату-

ры обеспечивались применением дублирующих систем защиты первичного источника питания по предельно допустимому току и введением в цепь обратной связи сигнала контроля аварийного изменения величины питающих напряжений в соответствии с ГОСТ 22785.5, п.1.5. Блоки, имеющие повышенное напряжение питания, оснащены дополнительными цепями гальванической развязки. Такое решение требует применения нескольких микроконтроллеров для функционирования отдельных узлов. Обмен командами и данными между различными узлами анализатора производится также через цепи, имеющие гальваническую развязку.

В процессе разработки «ШАИ-8» было найдено решение, удовлетворяющее требованиям безопасной эксплуатации в условиях угольных шахт и получению приемлемых характеристик измерительных каналов и схем предварительной обработки исследуемых сигналов.

В состав шахтного портативного анализатора «ШАИ-8» (рис. 1) входят следующие узлы и модули:

- ✦ антенна (может применяться различных типов — ферритовая, рамочная и т.д.);
- ✦ УП — усилитель предварительный (предназначен для усиления входного сигнала до уровня, достаточного для последующей обработки);
- ✦ Атт — аттенюатор (предназначен для предварительного масштабирования входного сигнала до уровня обработки аналого-цифрового преобразователя (АЦП));
- ✦ Ан+ — блок анализа наличия входного импульса положительной полярности (анализирует входные импульсы и устанавливает сигнал готовности при наличии входного импульса положительной полярности);
- ✦ Ан- — блок анализа наличия входного импульса отрицательной полярности (анализирует входные импульсы и устанавливает сигнал готовности при наличии входного импульса отрицательной полярности);
- ✦ АЦП — аналого-цифровой преобразователь;

- ✦ ТГ – генератор тактовых импульсов (формирует совокупность импульсов, предназначенных для тактирования различных узлов);
- ✦ ЦА – цифровой анализатор (предназначен для формирования сигналов управления запоминающим устройством при наличии сигналов готовности от аналоговых анализаторов входных импульсов положительной и отрицательной полярности);
- ✦ ДУ – драйвер управления (предназначен для управления процессом записи выходного сигнала АЦП в блок памяти);
- ✦ ОЗУ – блок оперативной быстродействующей памяти (предназначен для накопления информации об амплитудных значениях входных импульсов различной полярности);
- ✦ ЦП – центральный процессор (предназначен для общего управления процессами измерения, анализа и накопления информации);
- ✦ ЭНП – энергонезависимая память (предназначена для накопления и длительного хранения результатов измерений);
- ✦ УЭК – устройство управления средствами визуализации и клавиатуры (предназначено для управления средствами визуализации и интерактивного взаимодействия оператора с аппаратурой);
- ✦ ДС – драйвер связи (предназначен для взаимодействия между центральным процессором и устройством управления средствами визуализации и клавиатуры);
- ✦ ИНД – устройство визуализации (предназначено для отображения процесса измерения, графического и цифрового представления результатов измерений и визуального интерактивного взаимодействия оператора с прибором);
- ✦ Кл – клавиатура (предназначена для управления процессом измерения и интерактивного взаимодействия оператора с прибором);
- ✦ БП – источник питания;
- ✦ БИЗ – блок искрозащиты (предназначен для обеспечения искробезопасности).

Аналого-цифровой преобразователь производит преобразование входного сигнала в те-

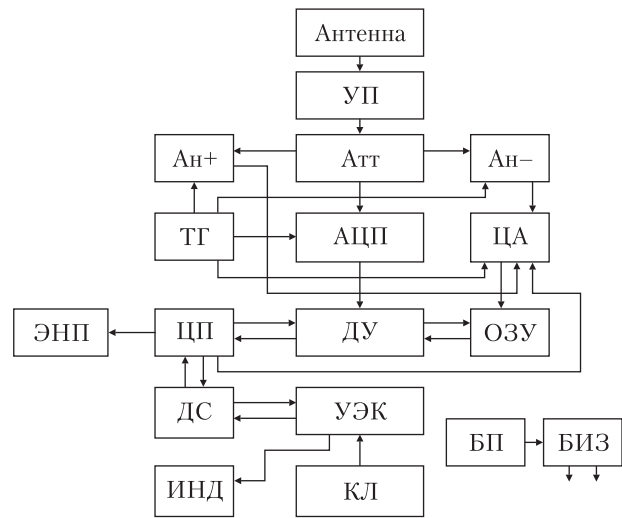


Рис. 1. Структурная схема шахтного портативного анализатора «ШАИ-8»

чение всего времени единичного измерения. Из-за спорадического поступления электромагнитных импульсов и громадного объема информации, необходимой для хранения и последующего анализа, использование непрерывной записи всей совокупности преобразованного сигнала не представляется возможным. Ресурсы памяти и применяемых современных микроконтроллеров не позволяют применять такой способ анализа поступающего потока информации. Для решения указанной проблемы было применено схемотехническое решение анализа только импульсов, превышающих по амплитуде собственный уровень шумов аппаратуры, и измерение только амплитудного значения импульса. Это позволяет получить компромиссное решение между скоростями микроконтроллеров, объемами используемой памяти и сложностью схемотехнического решения.

Так как полярность входных сигналов непредсказуема, возникла необходимость в создании двух параллельных каналов, отдельно обрабатывающих импульсы положительной и отрицательной полярностей. Специфика примененного конвейерного аналого-цифрового преобразователя высокой скорости AD9057

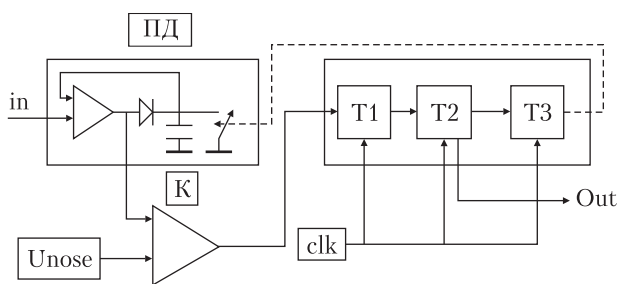


Рис. 2. Структурная схема узла, фиксирующего момент прохождения импульса через максимум

фирмы «Analog Devices» заключается в том, что сигналы на его выходе появляются только после четвертого такта тактирующего генератора, что требует применения цифровой линии задержки для синхронизации процесса записи амплитудного значения импульса и времени тактирования аналого-цифрового преобразователя. Для реализации данного требования аналоговая часть схемы не только выполняет функции усиления, но и формирует сигналы наличия самого импульса, моментов прохождения импульса через амплитудное значение и формирования сигналов установки в начальное положение для процесса ожидания поступления следующего импульса.

Схемотехнически цифровая часть автомата регистрации и накопления информации о поступивших импульсах представляет собой синхронную схему определения прохождения импульса через максимальное значение в момент тактирования, формирования сигналов для цифровой линии задержки, разрешения быстродействующей памяти и записи амплитудного значения входного импульса в память. Цифровая линия задержки предназначена для синхронизации записи выходного сигнала конвейерной АЦП в ОЗУ с моментом поступления входного сигнала. Частота тактирования аналого-цифрового преобразователя выбрана таким образом, чтобы за время длительности одного входного импульса производилось не менее 20–25 выборок текущего значения входного напряжения. Это позволяет снизить до минимума ошибку мгновенно-

го преобразования и, как следствие, получить достоверную информацию об амплитудных распределениях входных импульсов и среднем плотностном распределении входного потока.

Накопленная за выбранный период измерения информация считывается микроконтроллером из ОЗУ, систематизируется, предоставляется в графическом виде оператору и сохраняется в энергонезависимой памяти для дальнейшей обработки.

В состав узла фиксации момента прохождения импульса через максимум входят (рис. 2):

- ✦ ПД – пиковый детектор со схемой сброса;
- ✦ Т1 – триггер фиксации момента максимума;
- ✦ Т2 – триггер формирования выходного импульса разрешения записи;
- ✦ Т3 – триггер сброса пикового детектора;
- ✦ К – компаратор максимума.

На выходе усилителя пикового детектора в момент прохождения через максимум входного сигнала происходит отрицательный перепад из-за сохранения выходного напряжения на конденсаторе пикового детектора, который фиксируется компаратором максимума К и поступает на вход триггера фиксации момента максимума Т1. Сигнал с триггера Т1 поступает на вход триггера формирования импульса разрешения записи Т2, после чего посредством триггера Т3 формируется импульс сброса пикового детектора. Тактирование триггеров Т1, Т2 и Т3 синхронизировано с тактированием аналого-цифрового преобразователя, но сдвинуто по фазам и имеет различную скважность для снижения временной погрешности преобразования амплитудного значения. Процессы на триггерах Т1, Т2 и Т3 проходят за время одного периода тактирования аналого-цифрового преобразователя. Канал обработки импульсов противоположной полярности имеет аналогичную структуру. Для исключения взаимного влияния каналов обработки импульсов различной полярности применяется аналоговая ключевая схема блокирования одно-временной обработки. Импульсы разрешения записи каналов различной полярности скла-

дываються по принципу «или» и поступають на вход цифровой линии задержки для обеспечения синхронизации выходного сигнала применяемой конвейерной схемы аналого-цифрового преобразователя.

Основные параметры измерительного блока устанавливаются в интерактивном режиме в меню параметров аппаратуры. Последние настройки сохраняются в энергонезависимой памяти и могут быть использованы в дальнейшем по умолчанию. Необходимость изменения текущих параметров может возникнуть с изменением условий измерения. Для контроля и дальнейшего использования все необходимые значения режимов измерения сохраняются вместе с данными в текущем файле.

В ходе проведения измерения в оперативной памяти портативного шахтного анализатора последовательно сохраняются амплитудные значения входных импульсов. По окончании измерения производится амплитудная сортировка для получения энергетического распределения зарегистрированных входных импульсов с целью сохранения и последующего анализа. Для оперативного контроля результаты измерений предоставляются оператору в графическом виде. В тестовом режиме выбора и настройки параметров анализатора промежуточные данные не сохраняются, а оперативное изменение текущих параметров возможно без возврата в меню настроек. По окончании настройки выбранные режимы сохраняются, и анализатор переходит в рабочий режим с сохранением всех измеренных и служебных данных.

С точки зрения программного обеспечения микроконтроллеры разделены на «ведущий» и «ведомый». Микроконтроллер, отвечающий за управление и индикацию, является «ведущим» и выполняет следующие функции:

- ✦ контроль клавиатуры;
- ✦ контроль графического индикатора;
- ✦ сохранение текущих настроек;
- ✦ оперативное управление;
- ✦ взаимодействие с микроконтроллером измерительного блока.

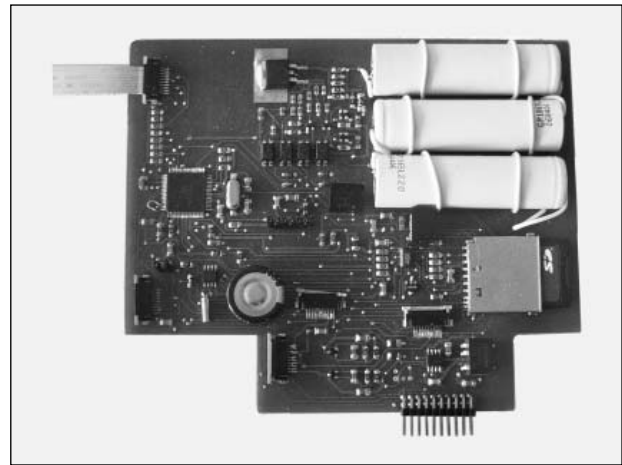


Рис. 3. Плата ведомого микроконтроллера с узлом взрывозащиты



Рис. 4. Внешний вид портативного шахтного анализатора «ШАИ-8»

Микроконтроллер измерительного блока является «ведомым» и выполняет такие функции:

- ✦ непосредственный процесс измерения;
- ✦ прием и обработка команд ведущего микроконтроллера;
- ✦ установка режимов аналогового тракта;
- ✦ первичная обработка полученных результатов;
- ✦ передача данных для визуализации;
- ✦ сохранение данных в энергонезависимой памяти;
- ✦ взаимодействие с часами реального времени;
- ✦ контроль источника питания;
- ✦ взаимодействие с микроконтроллером управления.

В обоих блоках применены микроконтроллеры фирмы «Atmel».

Монтаж узлов портативного шахтного анализатора выполнен печатным способом с применением SMD-компонентов. Только в тех случаях, где необходимо выполнение требований к зазорам между элементами или выводами элементов, применяются компоненты в другом исполнении. Печатные платы монтируются в корпусные элементы фирмы «BORLA». С целью повышения безопасности транспортировка и использование «ШАИ-8» в шахтных условиях производится в брезентовом чехле, оснащённом карманами для доступа к разъёмам и органам управления, фиксирующимся при помощи крючковой ленты.

Печатная плата ведомого микроконтроллера с узлом взрывозащиты показана на рис. 3.

Применение дублирующих элементов и специфика топологии печатной платы узла взрывозащиты обусловлены требованиями к взрывозащищённому электрооборудованию с видом взрывозащиты «искробезопасная электрическая цепь».

Основные технические характеристики:

Уровень и вид взрывозащиты	«РО», «Иа Х», «IP54»
Число измерительных каналов	1
Число ступеней усиления	256
Время измерения, с	10, 20, 40, 60, 120, 180
Режимы измерения	одиночный, циклично-непрерывный
Тип энергонезависимой памяти	SD-карта
Габариты составных частей аппаратуры, мм:	
блок измерительный	210 × 175 × 90
антенна выносная	280 × 35 × 35
зарядное устройство	160 × 100 × 98
Масса составных частей аппаратуры, кг:	
блок измерительный	2,1
антенна выносная	0,9
зарядное устройство	2,3

Внешний вид шахтного портативного анализатора «ШАИ-8» изображен на рис. 4.

Для возможности проведения измерений в шпурах и труднодоступных местах выносная ферритовая антенна выполнена в цилиндрическом корпусе, на одном из торцов которого имеется резьба для соединения с транспортными толкателями или рукоятки для использования в ручном варианте.

Таким образом, шахтный портативный анализатор электромагнитных импульсов «ШАИ-8», выполненный на современной элементной базе во взрывобезопасном исполнении, может и должен быть реализован как уникальный инструмент для прогнозирования газодинамической опасности участков угольных пластов, в т.ч. оперативного. Область применения данного анализатора не ограничена комплексом задач, связанных с безопасностью и эффективностью ведения горных работ на угольных шахтах Украины, и может быть расширена за счет полевых исследований по оценке напряженно-деформированного состояния любых массивов горных пород.

ЛИТЕРАТУРА

1. Воробьев А.А. О возможности электрических разрядов в недрах Земли // Геология и геофизика. — 1970. — № 1. — С. 3—14.
2. Соломатин В.Н., Васильев И.Н., Матов Ш.Р. Опыт регистрации естественного импульсного электромагнитного поля при обследовании Ялтинского тоннеля // Инженерная геология. — 1963. — № 5. — С. 30—42.
3. Правила безпеки у вугільних шахтах // НПАОП 10.0-1.01-10.
4. Система стандартов безопасности труда. Электрооборудование взрывозащищенное. Термины и определения. Классификация. Маркировка // ГОСТ 12.2.020.
5. Электрооборудование взрывозащищенное. Общие технические требования и методы испытаний // ГОСТ 22782.0.
6. Электрооборудование взрывозащищенное с видом взрывозащиты «Искробезопасная электрическая цепь». Технические требования и методы испытаний // ГОСТ 22782.5.

М.Г. Тіркель, В.В. Туманов, О.І. Архипенко,
Н.В. Хлюстов, О.В. Савченко, Н.Б. Молошнікова

ШАХТНИЙ ПОРТАТИВНИЙ АНАЛІЗАТОР
«ШАИ-8» ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ
ТА АНАЛІЗУ СИГНАЛІВ ПРИРОДНОГО
ІМПУЛЬСНОГО ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПОЛЯ
В ГІРНИЧИХ ВИРОБКАХ

Описано принцип побудови й функціональні можливості вузлів і блоків аналогового і цифрового оброблення сигналів шахтного портативного аналізатора «ШАИ-8». Наведено короткий опис вбудованого програмного забезпечення для керування основними функціями аналізатора, візуалізації поточних вимірювань, збереження результатів вимірювання для подальшого аналізу й оброблення у стаціонарних умовах. Наведені основні технічні характеристики аналізатора.

Ключові слова: вибухозахист, іскробезпечний електричний ланцюг, імпульсне електромагнітне поле, шахтний портативний аналізатор.

M.G. Tirkel, V.V. Tumanov, A.I. Arkhipenko,
N.V. Khlustov, A.I. Savchenko, N.B. Moloshnikova

MINE PORTABLE ANALYZER «ШАИ-8»
FOR THE MEASUREMENT AND ANALYSIS
OF SIGNALS OF NATURAL IMPULSE
ELECTROMAGNETIC FIELD IN MINES

Design and functional capabilities of analog and digital signal processing modules and units of portable analyzer for exploration in mines («ШАИ-8») is described. A brief description of embedded software to control the analyzer main functions, visualization of current measurements, and storage of measurement results for further analysis and processing in laboratory conditions is presented. The main specifications of analyzer are given.

Key words: explosion protection, spark-proof electric circuit, pulse electromagnetic field, portable analyzer for exploration in mines.

Стаття надійшла до редакції 14.04.11