

АКУСТИКО-ЭМИССИОННАЯ ДИАГНОСТИКА СЕКЦИЙ ШАХТНЫХ КРЕПЕЙ В ПРОЦЕССЕ ИХ ПРОЧНОСТНЫХ ИСПЫТАНИЙ

В. А. КУЛИШ¹, Э. С. КРЫЛОВ¹, А. В. ДРОЗДОВ²

¹ГП «Институт «УкрНИИпроект». 03680, г. Киев, пр-т. Акад. Палладина, 46/2.

E-mail: post@unp.kiev.ua

²Ин-т проблем прочности им. Г. С. Писаренко НАН Украины. 01014, г. Киев, ул. Тимирязевская, 2.

E-mail: adroz@ukr.net

Цель работы – разработка средства и методики акустико-эмиссионного (АЭ) контроля несущих металлоконструкций (МК) шахтных механизированных крепей на предмет выявления опасных дефектов, которые развиваются под нагрузкой в основном металле и сварных соединениях. Метод исследования – экспериментально-расчетный. Разработан и изготовлен четырехканальный аппаратно-программный комплекс «КОМПАС», основанный на методе АЭ в ультразвуковом диапазоне частот и тензометрическом методе измерения напряженно-деформированного состояния несущих МК в процессе АЭ контроля. Область применения комплекса «КОМПАС» – диагностика технического состояния несущих МК крепей (новых и после эксплуатации) в процессе их прочностных стендовых испытаний перед опусканием в забой. Основные функции комплекса «КОМПАС» – измерение акустических сигналов по четырем независимым каналам в процессе контроля объекта и сохранение результатов в виде отдельных файлов; регистрация в реальном времени четыре основных информативных параметров сигналов АЭ; измерение скорости распространения акустических волн; определения координат источников АЭ на поверхности (плоскости) элементов и узлов крепей; классификация источников АЭ по степени опасности; регистрация в реальном времени деформации элементов МК крепи одновременно с сигналами АЭ; подавление электромагнитных и механических помех. Библиогр. 12, рис. 9.

Ключевые слова: акустическая эмиссия, диагностика, шахтная крепь, прочность, испытание, комплекс «КОМПАС», контроль, стенд

Шахтные механизированные крепи являются одними из наиболее ответственных узлов горно-шахтного оборудования, обеспечить надежность и безопасность которого невозможно без современных методов и средств испытания их в процессе изготовления и проведения восстановительных работ.

Заданная при проектировании прочность несущих металлоконструкций (МК) крепей должна подтверждаться результатами стендовых испытаний, позволяющих выявлять дефекты в сварных соединениях и основном металле, которые в условиях подземной эксплуатации могут развиваться и приводить к серьезным авариям [1–3].

Для проведения комплексных испытаний секций шахтных механизированных крепей в сборе в последние годы успешно используется новый современный стенд СТД-2000, разработанный и изготовленный в Украине [2–6].

Сочетание функциональных и силовых характеристик этого стенда обеспечивает активное вертикальное и горизонтальное нагружение секций крепей высотой 0,6...6,0 м максимальным вертикальным усилием $2 \cdot 10^4$ кН, поэтому на этом стенде могут быть испытаны практически все типы современных крепей, которые используются на шахтах Украины.

Стенд СТД-2000 обеспечивает возможность проведения испытаний секций в максимально широком диапазоне схем и параметров нагружения с регистрацией всех показателей, необходимых для определения характеристик прочности крепей, которые определяют их эксплуатационную надежность и ресурс.

В соответствии с действующими государственными и отраслевыми нормативно-техническими документами, основными методами контроля прочности крепей являются измерение пространственной остаточной деформации несущих МК, а также визуальный и инструментальный контроль наружных сварных швов на отсутствие трещин.

Указанные методы не обеспечивают эффективный контроль МК на наличие внутренних дефектов, особенно в закрытых сечениях узлов МК крепей, недоступных для визуального контроля.

Кроме того, допуски по выявленным с помощью традиционных методов неразрушающего контроля (ультразвукового, радиографического и др.) дефектам сварных соединений зависят от категории швов, которые обычно классифицированы по видам нагружения. В большинстве случаев из-за сложной схемы нагружения конструкции не представляется возможным однозначно отнести сварное соединение к той или иной категории, а значит, объективно оценить результаты дефектоскопии.

ковом диапазоне частот; предварительных усилителей (ПУ) для усиления и передачи сигналов АЭ; тензопреобразователей деформаций и резисторных мостов (РМ); устройства обработки (УО) сигналов АЭ и деформаций; импульсного (ИИ) и управляемого (ИУ) имитаторов сигналов АЭ, которые позволяют оперативно проводить проверку работоспособности и калибровку измерительных каналов, определять скорость распространения ультразвуковых колебаний (УЗК) в металлоконструкции, проверять точность определения координат дефектов; компьютера персонального (ПК) переносного типа Notebook, который накапливает, обрабатывает и анализирует информативные параметры АЭ и деформации.

Техническая характеристика комплекса «КОМПАС»

| | |
|--|------------------------|
| Количество независимых измерительно-преобразовательных каналов | 4 |
| Количество измерительных каналов деформаций | 4 |
| Регистрация информативных параметров АЭ: суммарный счет; активность; амплитуда; разность времени прихода сигналов АЭ к преобразователям | |
| Рабочий диапазон преобразователей, кГц | 20...200 |
| Коэффициент усиления предварительного усилителя, не менее, дБ | 40 |
| Среднеквадратическое значение напряжения собственных шумов измерительного канала АЭ, приведенное к его входу, мкВ, не более | 5 |
| Диапазон измерения активности АЭ, имп/с | 0...1·10 ⁵ |
| Динамический диапазон измерения амплитуды АЭ, не менее, дБ | 60 |
| Диапазон измерения времени прихода импульсов АЭ, мс | 0...100 |
| Диапазон измерения упругих деформаций, м/м | 0...1·10 ⁻³ |
| Граница допускаемой относительной ошибки суммарного счета АЭ, % | ± 5,0 |
| Граница допускаемой относительной ошибки измерения скорости счета АЭ, % | ± 5,0 |
| Граница допускаемой абсолютной ошибки измерения разницы времени прихода импульсов АЭ, мкс | 50 |
| Доверительный интервал измерений, % | ± 96,0 |
| Габариты и масса составных частей комплекса «КОМПАС», мм; кг: | |
| преобразователь сигналов АЭ с предусилителем | Ø105x85; 0,55 |
| имитатор управляемый | Ø105x85; 0,55 |
| имитатор импульсный | 111x70x35; 0,1 |
| устройство обработки | 308x305x160; 8,7 |
| персональный компьютер | 370x256x35; 2,6 |

В состав УО входят: четырехканальный блок обработки сигналов АЭ (БОАЭ); четырехканальная тензоизмерительная станция ТИС; модуль ввода/вывода МВВ аналоговых сигналов амплитуды АЭ и деформаций, а также цифровых сигналов (импульсов АЭ) к персональному компьютеру.

Четыре преобразователя АЭ (ПАЭ1–ПАЭ4), совмещенные с предварительными усилителями ПУ1–ПУ4, устанавливаются на объекте контроля (рис. 3).

Резисторные мосты РМ1–РМ4 с тензопреобразователями деформаций расположены в местах

контроля объекта и с помощью соединительных кабелей подключены к входам четырехканальной тензоизмерительной станции ТИС, которая обеспечивает их питание, усиление полезных сигналов и балансировку нуля. Аналоговые сигналы амплитуды АЭ, деформаций, а также цифровые нормированные импульсы АЭ поступают на соответствующие входы модуля ввода/вывода МВВ, где поддаются оцифровке и вводу в персональный компьютер по последовательному интерфейсу USB.

Программное обеспечение комплекса «КОМПАС» осуществляет:

- определение информативных параметров АЭ;
- расчет разности времени прихода (РВП) импульсов АЭ к ПАЭ и скорости распространения УЗК;
- определение координат источников АЭ на поверхности (плоскости) элементов крепи;
- комплексную обработку полученных экспериментальных данных.

Проведение контроля несущих МК секций крепи в сборе на стенде СТД-2000 с помощью комплекса «КОМПАС» (рис. 4) включает следующие процедуры:

- определение скорости ультразвуковых колебаний (УЗК);
- определение коэффициента преобразования деформаций;
- контроль несущих МК в процессе нагружения.

Определение скорости УЗК проводится с использованием импульсного имитатора для каждого конструктивного элемента крепи (перекрытие, консоль, ограждение и основа) отдельно.

Программное обеспечение комплекса в режиме «РВП. Скорость УЗК» позволяет расчетным путем получить значение скорости УЗК, которое впоследствии используется для определения координат источников АЭ.

Определение коэффициента преобразования деформаций проводится с помощью выносных резисторных мостов, которые подключаются к каналам измерения деформаций тензорезисторной станции и после соответствующих измерений проводится расчет.

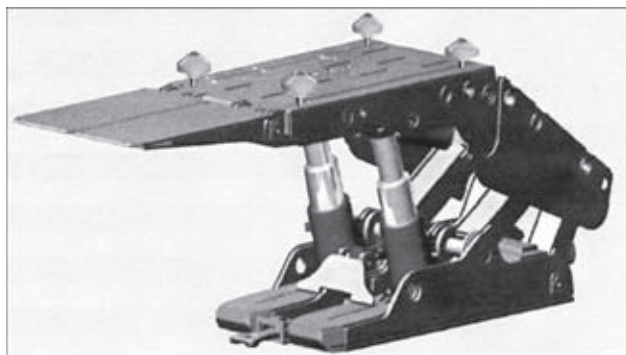


Рис. 3. Секция шахтной крепи с установленными на ее перекрытии датчиками АЭ и тензорезисторами

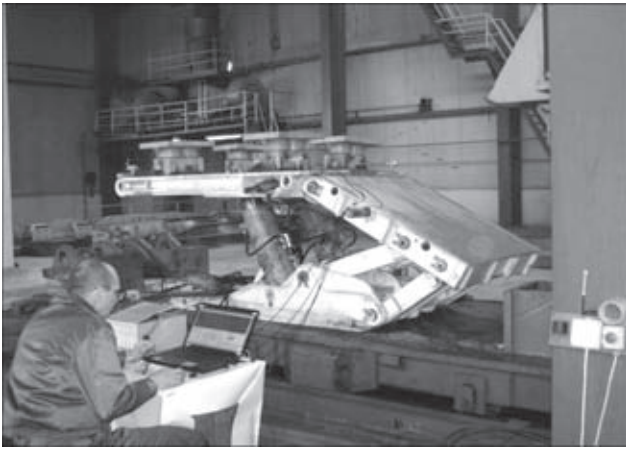


Рис. 4. Прочностные испытания секции шахтной крепи с использованием комплекса «КОМПАС»

Методика контроля несущих МК в процессе нагружения предусматривает совмещение штатных испытаний секций крепей на прочность на стенде СТД-2000 [2] с АЭ контролем их с помощью комплекса «КОМПАС».

Поэтому режимы нагружения секции в сборе и ее отдельных конструктивных элементов при проведении контроля соответствуют разработанным для этой цели схемам статического нагружения (рис. 5–7).

Режим АЭ контроля предусматривает проведение его в процессе статического нагружения секции по ступенчатой схеме [9,10]:

- первая ступень нагружения – $0,5P_{\text{НОМ}} = 1400$ кН;
- вторая ступень нагружения – $P_{\text{НОМ}}^* = 2800$ кН;

– третья ступень нагружения – $1,2P_{\text{НОМ}} (P_{\text{ИСП}}^{**} = 3360$ кН), где $P_{\text{НОМ}}^*$ – сопротивление секции максимальной рабочей мощности пласта; $P_{\text{ИСП}}^{**}$ – испытательное нагружение.

С помощью программы «КОМПАС» осуществляется автоматическая обработка экспериментальных данных для определения опасности источников АЭ и их координат. На изображение конструктивного элемента крепи выводятся в виде цветных точек источники АЭ с определенными координатами (рис.8).

Программа «КОМПАС» предусматривает также выведение результатов оценки опасности всех источников АЭ в графическом изображении в виде диаграммы «степень опасности зарегистрированных источников АЭ – время испытания (или нагружение)» (рис. 9).

Анализ может проводиться для всего процесса испытания или только на отдельном участке выдержки нагружения.

В случае фиксации в процессе контроля МК активных, критически и катастрофически активных источников АЭ необходимо определить их координаты, а потом в этих местах провести дополнительный контроль традиционными методами НК (ультразвуковым, радиографическим и др.).

Эффект от внедрения комплекса «КОМПАС» при прочностных испытаниях секций шахтных механизированных крепей достигается за счет:

- обеспечения безопасности эксплуатации горно-шахтного оборудования;

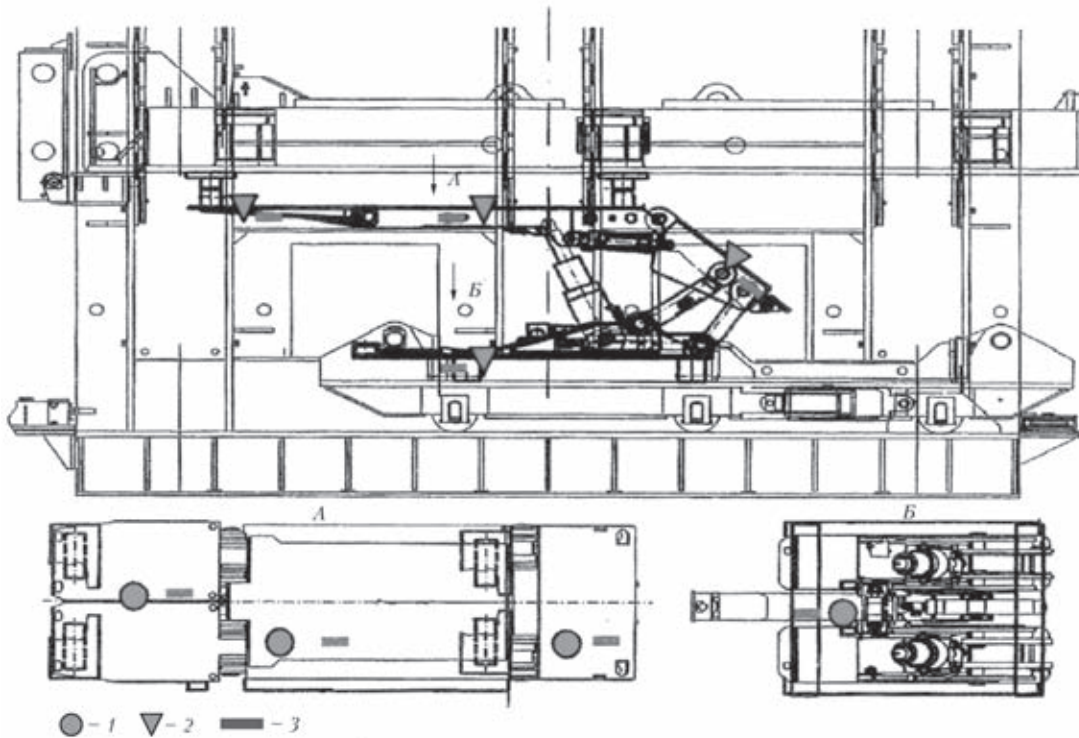


Рис. 5. Схема размещения датчиков АЭ и тензодатчиков при симметричном нагружении секции крепи: 1, 2 – датчики АЭ; 3 – тензорезисторные датчики

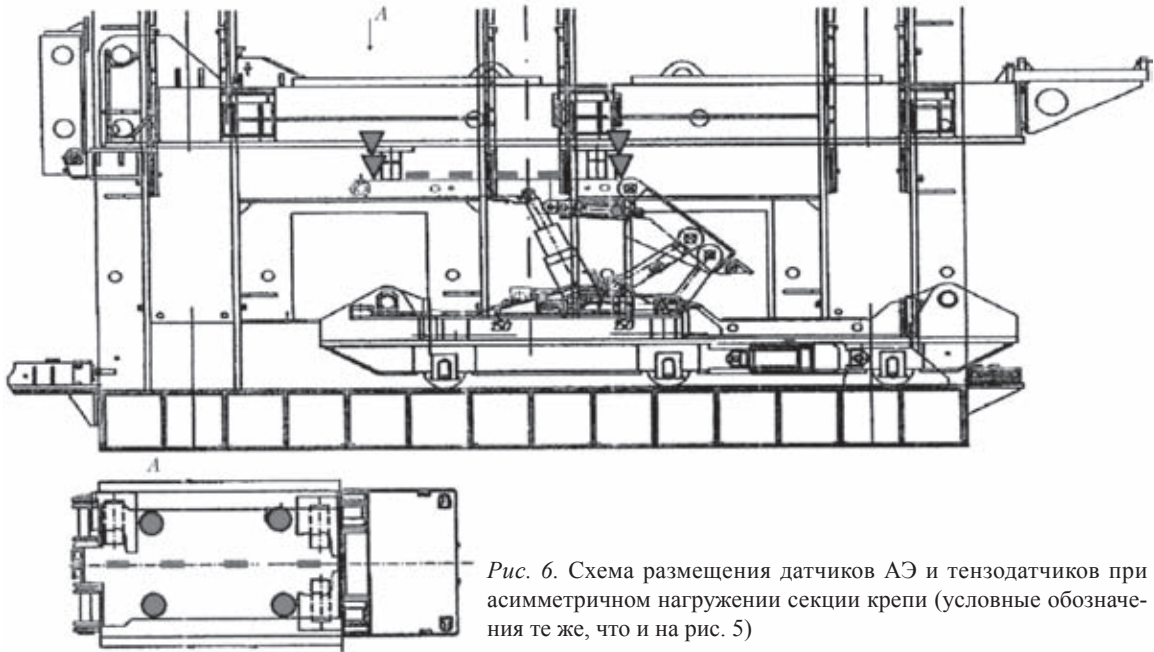


Рис. 6. Схема размещения датчиков АЭ и тензодатчиков при асимметричном нагружении секции крепи (условные обозначения те же, что и на рис. 5)

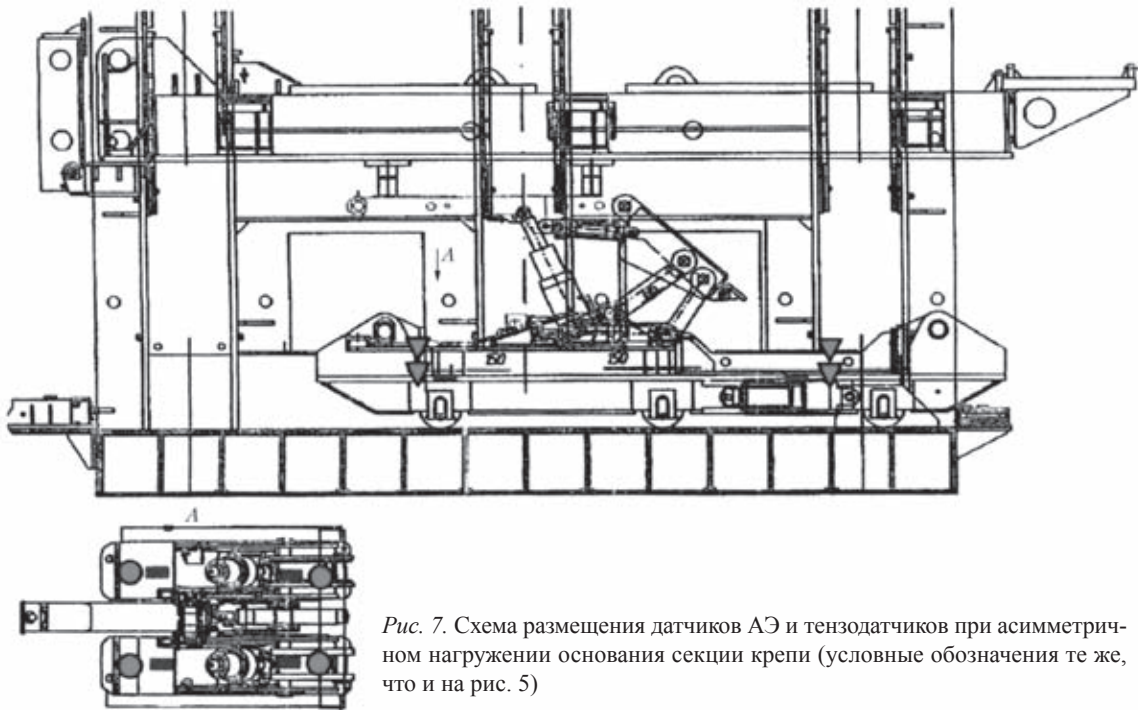


Рис. 7. Схема размещения датчиков АЭ и тензодатчиков при асимметричном нагружении основания секции крепи (условные обозначения те же, что и на рис. 5)

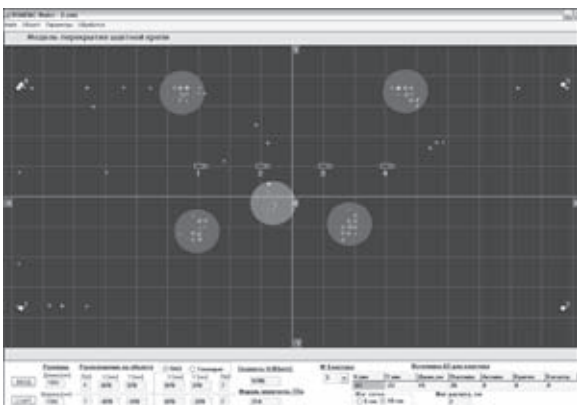


Рис. 8. Перекрытие шахтной крепи с зонами дефектов

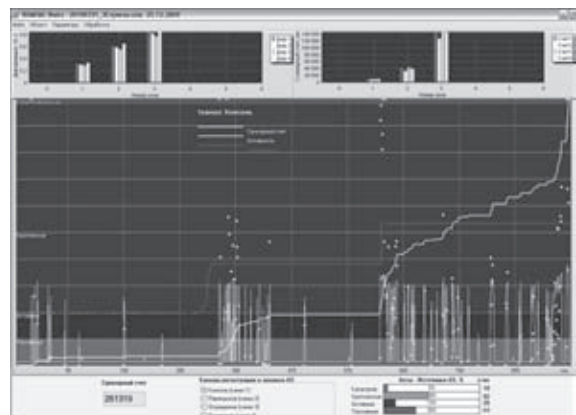


Рис. 9. Анализ сигналов АЭ и деформации несущих МК



– сокращения простоев оборудования из-за поломок (аварий) МК в результате обнаружения опасных дефектов на ранней стадии их развития;
 – сокращения трудоемкости обследования МК по сравнению с традиционными методами НК;
 – документирования результатов АЭ контроля и оценки технического состояния механизированных шахтных крепей с помощью современных компьютерных технологий.

Комплекс «КОМПАС» успешно прошел приемочные испытания на стенде СТД-2000 и Государственную метрологическую аттестацию в Укрметртестстандарт (Свидетельство о Государственной метрологической аттестации № 22-1364 от 30 июля 2010 г.).

Выводы

Разработаны аппаратно-программный комплекс «КОМПАС» и методика диагностики несущих МК шахтных механизированных крепей в процессе их прочностных испытаний.

Комплекс «КОМПАС» использует метод АЭ в ультразвуковом диапазоне частот, а также тензометрический метод измерения напряженно-деформированного состояния несущих МК в процессе АЭ контроля.

Комплекс «КОМПАС» успешно прошел приемочные испытания на стенде СТД-2000 и Государственную метрологическую аттестацию.

1. *Постанова* Кабінету Міністрів України від 26.05.04 р. № 687 «Порядок проведення огляду, випробування та експертного обстеження (технічного діагностування) машин, механізмів, устаткування підвищеної небезпеки».
2. *Недосека А. Я.* Основы расчета и диагностики сварных конструкций / Под ред. Б. Е. Патона. – Киев: Индпром, 2008. – 812 с.
3. *Недосека А. Я., Недосека С. А.* Акустическая эмиссия и ресурс конструкций (Обзор) // Техн. диагностика и неразруш. контроль. – 2008. – № 2. – С. 5–19
4. *Испытательный стенд СТД-2000 для механизированных крепей* / В. В. Косарев, И. Г. Вассерман, А. В. Медников и др. // Уголь. – 2006. – № 5.
5. *Система управления стендом СТД-2000 для испытаний секций механизированной крепи* / Ю. Н. Кирилюк, Н. А. Полубедов, Н. И. Стадник // Горное оборудование и электромеханика. – 2007. – № 6.
6. *Испытательный стенд СТД-2000 для механизированных крепей в России* / В. В. Косарев, Г. Вассерман, М. Б. Лидерман и др. // Уголь. – 2006. – № 8.
7. *Комплекс акустико-эмиссионного контроля «КОМПАС»* / В. В. Радченко, В. А. Кулиш, Э. С. Крылов и др. // Там же. – 2011. – № 1.
8. *Акустико-эмиссионный метод контроля шахтной крепи* / В. В. Радченко, В. А. Кулиш, Э. С. Крылов, А. В. Дроздов // Матер. 1-й Международной промышленной конф. «Эффективность реализации научного, ресурсного и промышленного потенциала в современных условиях». – Пос. Плавье (Украина), 10–14 фев. 2011. – С. 96-99
9. *COU 10.1.00174125.006:2005.* Правила проведения контролю несущих металлоконструкцій об'єктів технологічних комплексів гірничих підприємств акустико-емісійним методом.
10. *COU 10.1.00174125.015:2008.* Несучі металеві конструкції гірничого устаткування і гірничотехнічних споруд. Оцінка технічного стану.

The aim of work is a development of mean and procedure of acoustic-emission testing (AE) of metal load-carrying structures (MS) of powered supports for the purpose of detection of dangerous defects which are developed under loading in base metal and welded joints. An experimental-calculation method of investigation is used. A four-channel hardware and software complex «Kompas», based on AE method in ultrasonic frequency range and strain-gauge method of measurement of stressed-strain state of load-carrying MS in process of AE testing, was developed. Area of application of the «Kompas» complex is a diagnostics of technical state of load-carrying MS supports (new and after operation) in process of their strength bench tests before running in a working face. The main functions of the «Kompas» are measurement of acoustic signals on four independent channels in a process of object examination and saving of the results in a form of separate files; registration of four main informative parameters of AE signals in real time; measurement of velocity of acoustic wave propagation; determination of coordinates of AE sources on a surface (plane) of the elements and support assemblies; classification of AE sources on level of danger; registration of deformation of the MS support elements simultaneously with AE signals in real time; suppression of the electromagnetic and mechanical interferences. References 12, Figures 9.

Keywords: acoustic emission, diagnostics, ground support, strength; testing; complex; control, bench

Поступила в редакцию
05.06.2013

НОВА КНИГА

Накладні вихрострумові перетворювачі подвійного диференціювання / В. М. Учанін. – Львів: СПОЛОМ, 2013. – 268 с.

Монографія присвячена розробці вихрострумових перетворювачів (ВСП) подвійного диференціювання. Як утворювальний елемент для їх побудови розглянуто особливості анаксіальних ВСП. Проаналізовано конструкції і механізми формування сигналів від дефектів у ВСП подвійного диференціювання. Подано результати досліджень, які засвідчують їх можливість для розв'язання найскладніших задач неруйнівного контролю.

Для наукових співробітників і інженерів, що займаються дослідженням і розробкою методів і засобів неруйнівного контролю, а також аспірантів і студентів вузів зі спеціальностей «Методи неруйнівного контролю» і «Діагностика матеріалів і конструкцій». Іл. 201. Табл. 16. Бібліогр. 307 назв.