

# ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ОБЪЕКТОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ УГОЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ (Опыт работы ГП «Институт «УкрНИИпроект» Минэнергоугля Украины)

Э.С. КРЫЛОВ, В.А. КУЛИШ, Л.Е. ЛИТВИНЕНКО

ГП «Институт «УкрНИИпроект». 03680, г. Киев, просп. Акад. Палладина, 46/2. E-mail: ukrndipr@ukr.net

Представлен многолетний опыт работы ГП «Институт УкрНИИпроект» Минэнергоугля Украины по решению задач, позволяющих повысить работоспособность и безопасность эксплуатации объектов технологических комплексов угольных предприятий. В результате внедрения описанных в статье разработок появилась возможность более объективно оценивать сроки безопасной эксплуатации объектов; выявлять элементы несущих конструкций, которые подлежат ремонту, реконструкции или замене; осуществлять прогноз остаточного ресурса элементов конструкций; определять конструктивные, технологические и эксплуатационные ограничения, которые обеспечивают расчетный срок конструкций. Эффективное использование средств неразрушающего контроля несущих конструкций, нормативных документов для их реализации и результатов обследования фактического технического состояния значительно повышают достоверность научно-обоснованного продления сроков эксплуатации объектов повышенной опасности. Библиогр. 13, рис. 9.

*Ключевые слова:* технологические комплексы угольных предприятий, работоспособность, безопасность, нормативный документ, средства неразрушающего контроля, акустическая эмиссия

Большинство объектов технологических комплексов угольных предприятий относятся к объектам повышенной опасности и эксплуатируются длительный период (до 40–60 и более лет) в сложных производственных условиях.

К таким объектам на шахтах относятся: надшахтные копры, транспортные эстакады и галереи, опоры канатных дорог, здания комплексов, горношахтное оборудование (ГШО), а на разрезах: экскаваторы непрерывного и циклического действия, отвалообразователи, перегружатели и другие горнотехнические сооружения.

Более 60 % этих объектов отработали свой нормативный срок и требуют замены. Однако, по различным объективным причинам многие предприятия не в состоянии обновить свой парк оборудования.

В этой ситуации очень актуальной является проблема определения возможности эксплуатации объектов с истекшим сроком службы и сохранения при этом их работоспособности и безопасности.

Важность этой проблемы подтверждается действующими в Украине законодательными и нормативными документами [1–4]. Поэтому одним из направлений деятельности института «УкрНИИпроект» являются работы по оценке фактического технического состояния этих объектов.

Указанное направление в разные периоды деятельности института включало следующие задачи:

– разработку отраслевых нормативно-технических документов (НТД) и стандартов, регламентирующих правила и организацию обследования, оценку и паспортизацию технического состояния объектов;

– разработку и внедрение средств контроля напряженно-деформированного состояния и дефектности несущих металлоконструкций (МК), а также защиту их от аварийных перегрузок;

– обследование, оценку и паспортизацию технического состояния зданий и сооружений штатной поверхности, а также горнотранспортных (ГТ) комплексов, эксплуатируемых на открытых разработках полезных ископаемых;

– разработку и внедрение средств контроля несущих МК оборудования для открытых горных работ и шахт с помощью перспективного акустико-эмиссионного (АЭ) метода.

До 1990-х годов деятельность института была связана с интенсивной разработкой бурых и каменных углей соответственно на разрезах Александровского и Экибастузского месторождений. Объектами исследования были транспортно-отвальные (ТО) комплексы, полученные СССР по репарациям из Германии и добычные роторные экскаваторы отечественного и зарубежного производства. В этот период были разработаны и внедрены [5]:

– «Инструкция по неразрушающему контролю МК транспортно-отвальных комплексов», которая устанавливает порядок и методику контроля, а также нормы оценки качества

при проведении дефектоскопии сварных (клепанных) соединений МК в процессе проведения ремонтных работ и эксплуатации ТО комплексов (ПО «Александряуголь»);

– «Руководство по неразрушающему контролю металлоконструкций роторных комплексов», которое включает карты дефектоскопии и характерные виды дефектов несущих элементов и узлов МК роторных комплексов, а также методики контроля их с помощью традиционных и перспективных методов НК (ПО «Экибастууголь»).

Позднее работы по стандартизации были распространены на здания и сооружения шахтной поверхности, в результате которых были разработаны:

1) РД 12.003–92. Порядок и организация обследования несущих металлических конструкций шахтных копров;

2) РД 12.011–96. Здания и сооружения технологических комплексов шахтной поверхности;

3) РД 12.005–94. Металлические конструкции шахтных копров. Требования к эксплуатации;

4) РД 12.004–93. Металлические конструкции шахтных копров. Общие требования к защите от коррозии;

5) СОУ 10.1.00174125.015:2008. Несущие металлические конструкции горного оборудования и горнотехнических сооружений. Оценка технического состояния;

6) СОУ 10.1.00174125.006:2005. Правила проведения контроля несущих металлоконструкций объектов технологических комплексов горных предприятий акустико-эмиссионным методом;

7) СОУ-Н10.1.00174125.002:2012. Порядок и организация обследования железобетонных копров;

8) СОУ-Н10.1.00174125.001:2012. Порядок и организация обследования металлических копров;

9) ГСТУ 101.00174125.002–2003. Правила обследования, оценки технического состояния технологических трубопроводов угольных предприятий.

Стандарты, разработанные после 2000 годов, учитывают требования новых законодательных и нормативных документов, использование современных средств инструментального контроля несущих конструкций и др., что позволяет при их использовании решать следующие основные задачи:

– оценивать сроки безопасной эксплуатации конструкций;

– выявлять элементы несущих конструкций, которые подлежат ремонту, реконструкции или замене;

– осуществлять прогноз остаточного ресурса элементов конструкций и обоснование продления срока их безопасной эксплуатации;

– определять конструктивные, технологические и эксплуатационные ограничения, которые обеспечивают расчетный срок службы конструкций.

В течение многих лет проводятся инструментальные обследования, оценка и паспортизация технического состояния объектов технологических комплексов угольных предприятий.

В настоящее время во Львовско-Волынском, Донецком, Луганском угольных бассейнах, а также на рудных и нерудных месторождениях полезных ископаемых Украины обследовано более 250 объектов, среди которых металлические и железобетонные шахтные копры, горнотранспортные комплексы, здания, сооружения и др. оборудование.

Многолетние исследования института позволили констатировать, что большинство аварийных ситуаций можно предотвратить, оснастив ГТ машины регистрирующей аппаратурой, позволяющей вести непрерывный контроль за техническим состоянием несущих МК в наиболее нагруженных узлах.

Поэтому для определения напряженно-деформированного состояния несущих МК в процессе обследования и защиты их от перегрузок наряду с применением широко распространенного тензометрического метода в институте были разработаны приборы и устройства специального назначения.

1) Четырехканальное устройство регистрации экстремальных режимов нагружения основных узлов МК (УРЭН). Предназначено для непрерывного слежения за текущими значениями нагрузок в элементах МК, в которых в процессе работы машины могут возникнуть опасные механические напряжения, приводящие к разрушению МК.

В устройстве использованы индуктивные дифференциальные датчики, устанавливаемые на контролируемых МК.

2) Устройство УЗНЧ-1 предназначено для регистрации виброперемещений с большими амплитудами и углами кручения, возникающими в МК.

Устройство работает в диапазоне частот от 0 до 3 Гц, которые представляют наибольшую опасность для несущих МК (ГТ) машин.

В устройстве используется электролитический преобразователь дифференциального типа, заполненный токопроводящей жидкостью.

3) Устройство для определения напряжений в МК от собственного веса МИН-А позволяет определять степень статической напряженности уже нагруженных элементов МК, а также остаточных напряжений в сварных конструкциях. Принцип действия устройства основан на способности металлов изменять свою магнитную проницаемость пропорционально прилагаемой нагрузке.

4) Устройство защиты металлоконструкций от опасных вибраций АЗОВ-3, которое позволяет автоматически отключать приводы рабочего органа и перемещения оборудования в случае возникновения в конструкции механических колебаний с амплитудой, превышающей предельно допустимый уровень вибрации.

В устройстве используется индуктивный датчик, смонтированный на конструкции.

Устройство АЗОВ-3 было внедрено на четырех типах роторных экскаваторов отечественного и зарубежного производства, которые эксплуатировались на разрезе «Богатырь» ПО «Экибастузуголь».

5) Радиотелеметрическая тензометрическая станция РТТС-5, предназначенная для беспроводной передачи информации о деформациях и вибрации элементов МК, мощности, потребляемой электродвигателями в процессе эксплуатации ГТ оборудования.

Как показывает практика, основным критерием ограничения нормативного срока эксплуатации МК является физический износ, преимущественно усталостное и коррозионное разрушение.

Научно-обоснованное продление сроков эксплуатации оборудования базируется на доминирующей в последнее время концепции «безопасного повреждения конструкций». Исходя из этой концепции, неопасно допускать эксплуатацию поврежденных конструкций, в которых дефекты, возникающие или развивающиеся в процессе эксплуатации, не приводят к отказам, т. е. нарушению функциональной работоспособности.

С учетом этого при определенных условиях можно допускать эксплуатацию в условиях регламентированного разрушения, которое для трещин соответствует области ВС (рис. 1), ширина раскрытия трещины в этой области обычно превышает  $10^{-3}$  мм [6].

Согласно нормативам, действующим в различных отраслях промышленности, максимально допустимое уменьшение площади сечения элемента МК от коррозии колеблется от 5 до 30 % при исходной толщине элемента от 5 до 25 мм.

В настоящее время для контроля несущих МК объектов технологических комплексов широко используются современные дефектоскопы и толщиномеры, которые обеспечивают обнаружение и измерение параметров дефектов.

В соответствии с требованиями СНиП.III-18-85 и других отраслевых НТД допуски по выявленным с помощью традиционных методов НК (УЗД, радиографического и др.) дефектам сварных соединений зависят от категории швов, которые классифицированы по видам нагружения. Однако в большинстве случаев из-за сложной схемы нагружения конструкции не представляется возможным

однозначно отнести сварное соединение к той или иной категории и поэтому объективно оценить результаты дефектоскопии.

Контроль АЭ методом выгодно отличается от УЗД и других традиционных методов тем, что обнаруженные с его помощью дефекты (трещины, предельное утонение сечения МК и др.) являются развивающимися, т. е. особо опасными.

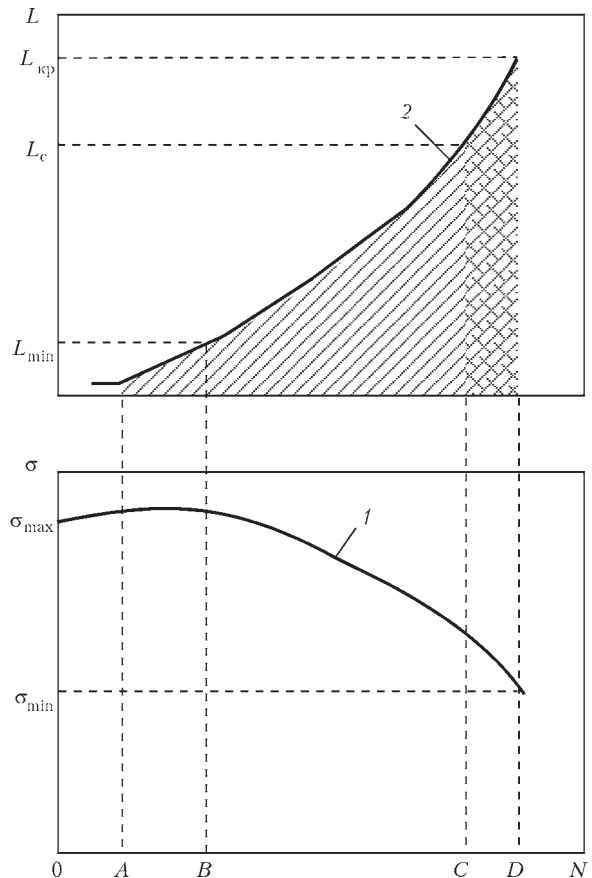


Рис. 1. Изменение остаточной прочности конструкции 1 и размеров трещин 2 в процессе циклического нагружения ( $L$  – длина трещины;  $N$  – число циклов нагружения;  $\sigma$  – уровень напряжений) ( $OD$  – расчетный ресурс конструкций – 100 %;  $OA$  – развитие ядра трещины – 10 % ресурса;  $AB$  – развитие субмикротрещины в микротрещину – 30 % ресурса;  $BC$  – развитие усталостной трещины – 50 % ресурса (чувствительность УЗД более  $10^3$  мм);  $CD$  – критический размер усталостной трещины – до 10 % ресурса (обнаруживается визуально)

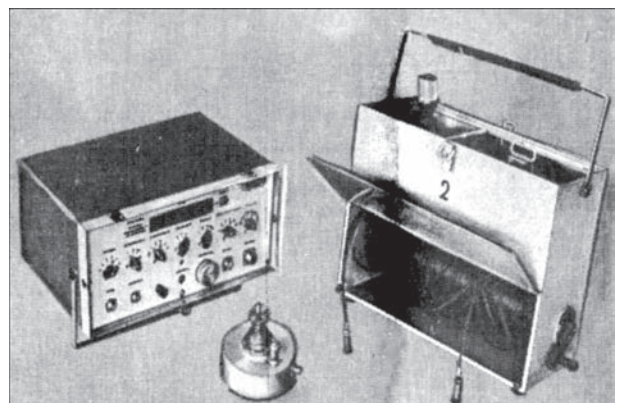


Рис. 2. Устройство УКОД



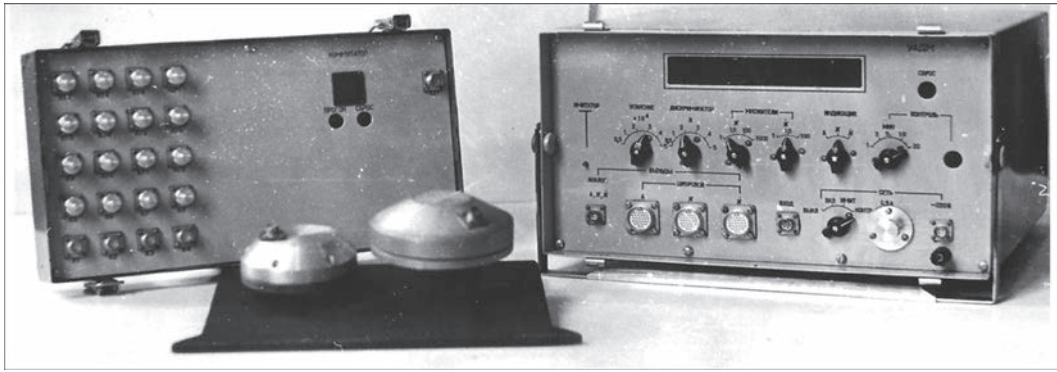


Рис. 3. Устройство УАДМ

Поэтому при использовании данного метода вопрос о степени опасности дефектов решается автоматически.

Многолетние фундаментальные исследования АЭ метода контроля, а также разработка и внедрение современных средств для его реализации в ИЭС им. Е.О. Патона НАН Украины [7, 8] позволили стандартизировать этот метод для диагностики объектов повышенной опасности [9].

Учитывая изложенное выше, в институте «УкрНИИпроект» за последние 30 лет были разработаны и внедрены на оборудовании для открытых горных работ и шахтах несколько модификаций средств контроля с помощью АЭ метода (прошедших эволюцию от аналоговой до цифровой обработки и регистрации АЭ информации).

1) Устройство неразрушающего контроля технического состояния МК роторных экскаваторов УКОД (рис. 2).

Устройство является переносным в пылевлагозащищенном исполнении и может быть использовано для периодического обследования МК ГТ машин типа экскаваторов, отвалообразователей, ТО мостов, эксплуатируемых на угольных, сланцевых, рудных и других месторождениях.

Рабочий диапазон температур: от  $-40$  до  $40$  °С.

2) Устройство встроенное контроля технического состояния МК горнотранспортных машин УАДМ (рис. 3).

Устройство УАДМ является аппаратно-программным средством и предназначено для централизованного контроля информативных параметров АЭ как в составе информационно-вы-

числительного комплекса (ИВК) ГТ машины, так и автономно для АЭ контроля технического состояния узлов МК. С его помощью возможно осуществлять контроль узлов МК путем опроса двадцати датчиков, установленных на расстоянии до 150 м от электронного блока.

Выносные элементы устройства (датчик с предварительным усилителем и имитатор) функционируют в рабочем диапазоне температур от  $-50$  до  $50$  °С и выполнены в пылевлагозащищенном исполнении.

3) Комплекс АЭ контроля трубопроводов КАРАТ.

Комплекс КАРАТ состоит из переносного компьютера класса Notebook, четырех датчиков, совмещенных с предварительными усилителями, устройства обработки, имитатора, аккумулятора, сетевого блока питания и комплекта кабелей (рис. 4).

Комплекс КАРАТ является аппаратно-программным средством контроля и предназначен для обнаружения и определения местоположения утечек транспортируемого вещества (рис. 5) в технологических трубопроводах на угольных предприятиях (шахтах, обогатительных фабриках, разрезах и т. п.), а также для обнаружения и определения координат развивающихся под нагрузкой дефектов типа трещин (рис. 6) и значительных зон пластической деформации в указанных трубопроводах.

Длина участка трубопровода, контролируемого за одну установку датчиков не более 250 м.



Рис. 4. Комплекс КАРАТ

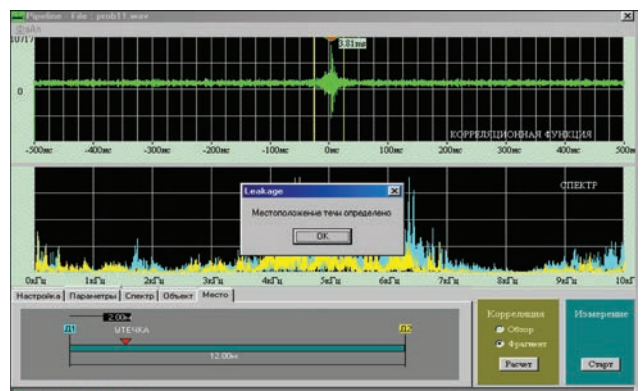


Рис. 5. Регистрация с помощью комплекса КАРАТ утечки воды из трубопровода

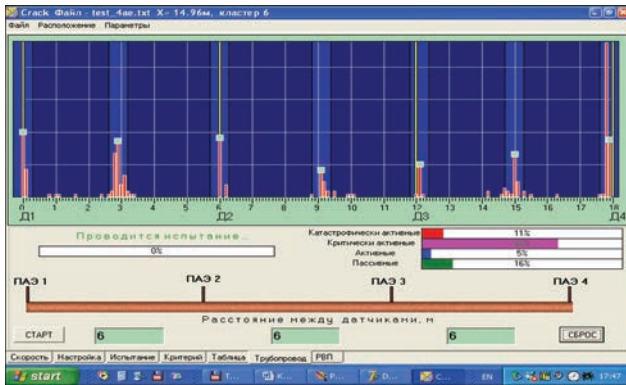


Рис. 6. Регистрация с помощью комплекса КАРАТ сигналов акустической эмиссии



Рис. 7. Комплекс КОМПАС

4) Комплекс АЭ контроля несущих МК секций шахтных механизированных крепей КОМПАС.

Комплекс КОМПАС состоит из переносного ПК класса Notebook, четырех пьезопреобразователей сигналов АЭ с предварительными усилителями, четырех тензопреобразователей деформации с резисторными мостами, двух имитаторов (импульсного и управляемого), а также блока обработки сигналов АЭ и тензометрической станции, которые расположены в одном корпусе (рис. 7).

Комплекс КОМПАС предназначен для выявления в несущих МК (новых и после эксплуатации) опасных дефектов в основном металле и сварных соединениях (рис. 8, 9), которые развиваются в процессе испытательных нагрузок шахтных механизированных крепей [10].

Работа комплекса основана на использовании метода АЭ в ультразвуковом диапазоне частот, а также тензометрического метода измерения напряженно-деформированного состояния несущих МК в процессе АЭ контроля. Ком-

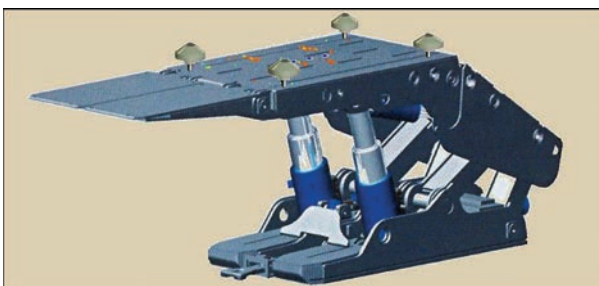


Рис. 8. Секция крепи с датчиками АЭ и тензорезисторами

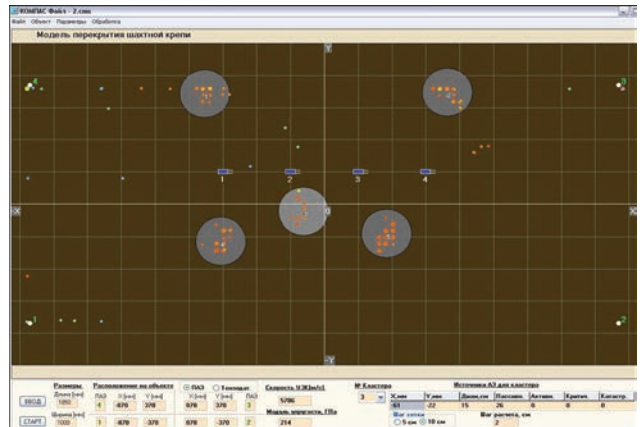


Рис. 9. Перекрытие шахтной крепи с зонами дефектов

плекс КОМПАС прошел успешные приемочные испытания на стенде СТД-2000 на Дружковском машиностроительном заводе и Государственную метрологическую аттестацию в ГП «Укрметрестандарт».

Эффект от внедрения АЭ контроля при прочностных испытаниях секций шахтных механизированных крепей достигается за счет:

- обеспечения безопасности эксплуатации оборудования;
- сокращения простоев оборудования из-за поломок (аварий) МК в результате обнаружения опасных дефектов на ранней стадии их развития;
- сокращения простоев оборудования во время обследования МК;
- сокращения трудоемкости обследования МК по сравнению с традиционными методами неразрушающего контроля.

Большинство созданных средств контроля технического состояния защищено авторскими свидетельствами и патентами [11–13].

### Выводы

Для обеспечения работоспособности и безопасности эксплуатации объектов технологических комплексов угольных предприятий ГП «Институт «УкрНИИпроект» выполнены работы по:

- разработке отраслевых нормативно-технических документов и стандартов;
- разработке и внедрению средств контроля напряженно-деформированного состояния несущих МК объектов, а также защиты их от аварийных перегрузок;
- обследованию, оценке и паспортизации технического состояния объектов;
- разработке и внедрению средств контроля несущих МК объектов с помощью АЭ метода.

Эффективность использования разработанных средств контроля несущих МК и нормативных документов для их реализации позволяют осуществлять научно-обоснованное продление сроков экс-

платации объектов повышенной опасности.

На базе описанных разработок могут быть успешно реализованы подобные проекты для использования их на объектах, которые эксплуатируются в других отраслях промышленности.

1. Закон України «Про об'єкти підвищеної небезпеки». – Від 18.01.2001. № 2245-III.
2. Гірничий Закон України. – Від 06.10.1999. № 1127-XIV.
3. Постанова Кабміну України від 05.05.97 р. № 409 «Про забезпечення надійності і безпеки експлуатації будівель, споруд і інженерних мереж».
4. Постанова Кабміну України від 26.05.04 р. № 687 «Порядок проведення огляду, випробування та експертного обстеження (технічного діагностування) машин, механізмів, устаткування підвищеної небезпеки».
5. Крылов Э.С., Боголюбов М.В. Техническое состояние и контроль металлоконструкций горнотранспортных машин // Минуглепром СССР. Обзоры по основным направлениям развития отрасли. – Вып. 1. – М: ЦНИЭИ, 1986. – 43 с.
6. Диагностика технического состояния несущих металлоконструкций объектов технологических комплексов горнорудных предприятий / В.А. Кулиш, Э.С. Крылов, А.В. Яций, Л.Е. Литвиненко // Матер. Первой межд.

- пром. конф. «Эффективность реализации научного, ресурсного и промышленного потенциала в современных условиях». – Пос. Плавье (Украина). 10–14 февраля 2011 г. – С. 58–63.
7. Недосека А.Я. Основы расчета и диагностики сварных конструкций / Под ред. Б.Е. Патона. – Киев: Индром, 2008. – 812 с.
  8. Недосека А.Я., Недосека С.Я. Акустическая эмиссия и ресурс конструкций (Обзор) // Техн. диагностика и неразруш. контроль. – 2008. – № 2. – С. 5–9.
  9. ДСТУ 4227–2003. Руководство по проведению акустико-эмиссионного диагностирования объектов повышенной опасности.
  10. Комплекс акустико-эмиссионного контроля КОМПАС / В.В. Радченко, В.А. Кулиш, Э.С. Крылов, А.В. Дроздов // Уголь Украины. – 2011. – № 1. – С. 37–41
  11. Пат. № 7250. Украина. МПК G01N29/04. Датчик сигналов акустической эмиссии / Э.С. Крылов. – Оpubл. 15.09.2000, Бюл. № 4.
  12. Пат. № 80929. Украина. МПК G01N29/04. Способ определения координат источников акустической эмиссии / Э.С. Крылов, А.В. Дроздов – Оpubл. 10.06.2013, Бюл. № 11.
  13. Пат. № 92168. Украина. МПК G01N29/04. Способ определения координат источников акустической эмиссии / А.В. Дроздов, Э.С. Крылов. – Оpubл. 11.08.2014, Бюл. № 15.

The paper presents many years of experience of SC “Institut UkrNIIProekt” of Ministry of Energy and Coal Industry of Ukraine on solving the problems, which allow improvement of serviceability and safe operation of coal processing facility equipment. Introduction of described developments enabled more accurate assessment of the terms of safe service of facilities, detecting the load-carrying structure elements to be repaired, upgraded or replaced; prediction of residual life of structural elements; determination of structural, technological and operational limitations, ensuring the structure design life. Effective application of means for non-destructive testing of load-carrying structures, normative documents for their realization and results of examination of actual technical condition considerably improve the validity of scientifically-based extension of service life of high-risk facilities. 13 References, 9 Figures.

Keywords: coal processing facilities, serviceability, safety, normative document, NDT means, acoustic emission

Поступила в редакцію  
19.01.2016

## НОВИНИ УКРАЇНСЬКОГО ТОВАРИСТВА НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ І ТЕХНІЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ

16 лютого 2016 р. в Інституті електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України (ІЕЗ) відбулось засідання Бюро Правління УТ НКТД, на якому були обговорені питання стосовно проведення 8-ї Національної науково-технічної конференції «Неруйнівний контроль та технічна діагностика» (далі 8-а конференція), організації участі спеціалістів УТ НКТД у 19-й Всесвітній конференції з НК в Мюнхені, необхідності реорганізації систем неруйнівного контролю на Укрзалізниці і в галузі атомної енергетики, співпраці з Американським товариством з НК (ASNT).

В результаті обговорення були прийняті наступні рішення.

Погодитися з пропозицією О.В.Мозгового про проведення чергової 8-ї конференції з 22 по 25 листопада 2016 р. в ІЕЗ. Доручити А.Л. Шекеро підготувати перше інформаційне повідомлення про конференцію і розмістити його в інформаційних виданнях і на сайті Товариства. Для проведення підготовчих робіт с організації конференції створити робочу групу.

У відповідності з домовленістю між секретаріатом УТ НКТД і організаційним комітетом 19-ї Всесвітньої конференції з НК УТ НКТД буде мати власний інформаційний стенд на виставці. Прийняти до відома інформацію В.О. Троїцького про хід підготовки доповідей на конференцію, звернути увагу відповідальних за прийняття повних текстів доповідей про наближення дедлайну. Створити робочу групу з організації поїздки делегації українських спеціалістів на 19-у Всесвітню конференцію з НК.

Доручити керівництву УТ НКТД прийняти участь в технічній нараді з питань формування напрямків розвитку НК на залізничному транспорті і визначення головної організації з НК на Укрзалізниці.

Доручити О.В. Мозговому підготувати від імені УТ НКТД письмові пропозиції для НАЕК «Енергоатом» стосовно реорганізації системи сертифікації персоналу з неруйнівного контролю в галузі атомної енергетики і її приведення у відповідність до міжнародних стандартів.

Прийняти до відома інформацію В.О.Троїцького про видачу сертифікатів членів УТ НКТД виконавчому директору ASNT Arny Bereson та президенту ASNT Kevin Smith у відповідності з договором про двосторонню співпрацю між УТ НКТД та ASNT. Прийняти до відома інформацію М.Л. Казакевича про виконану роботу з організації в Україні секції ASNT, а також інформацію В.О. Троїцького про домовленість з дирекцією ІЕЗ про згоду на розміщення секретаріату секції у ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України.

Доручити М.Л. Казакевичу організувати треті збори зі створення секції ASNT в режимі Skype-конференції.