

# НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ И ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СТАЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ТРУБОПРОВОДОВ УГОЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Э. С. КРЫЛОВ, В. А. КУЛИШ

ГП «Институт «УкрНИИпроект» Минэнергоугля Украины. 03142, г. Киев, просп. Акад. Палладина 46/2.

E-mail: ukrndipr@ukr.net

Для стальных технологических трубопроводов угольных предприятий разработана комплексная оценка их технического состояния по бальной системе. В качестве критериев оценки использованы факторы, влияющие на техническое состояние трубопроводов. Разработан и испытан комплекс акустико-эмиссионного контроля КАРАТ для обнаружения утечек, а также выявления в металле трубы развивающихся под нагрузкой дефектов типа трещин. По результатам исследований разработан отраслевой стандарт ГСТУ 101.00174125.002–2003. Библиогр. 10, табл. 2, рис. 2.

*Ключевые слова:* технологический трубопровод, угольное предприятие, неразрушающий контроль, оценка технического состояния, отраслевой стандарт, акустическая эмиссия

Протяженность стальных технологических трубопроводов шахт (воды, пара, воздуха, шахтных вод и др.), обогатительных фабрик (шламовой воды, флотохвостов, нефтепродуктов, агрессивных и токсичных материалов и т. д.), а также разрезов (на одном горном предприятии) исчисляется десятками (сотнями) километров, достигая 70 % протяженности технологических коммуникаций, а стоимость их сооружения составляет 1,5 % полной сметной стоимости предприятия [1].

Наиболее протяженными и ответственными являются для: шахт – трубопроводы водоотлива и воздуховода, а также водопроводы; обогатительных фабрик – трубопроводы технической, оборотной и шламовой воды, сжатого воздуха, чистой воды, флотохвостов и др.

Трубопроводные системы являются одними из наиболее распространенных объектов повышенной опасности, более половины из которых в угольной промышленности эксплуатируются более 30 лет (т. е. с истекшим нормативным сроком службы) в условиях отсутствия службы контроля их технического состояния. Это часто приводит к аварийным ситуациям (утечкам, разрывам трубопроводов и т. п.), которые отрицательно сказываются на техногенно-экологической безопасности.

В дополнение к этому развитие и реструктуризация угольной промышленности Украины оказывает значительное воздействие на трубопроводы, находящиеся в зоне влияния шахтных полей. Неравномерная осадка земной поверхности может вызывать изменения положения и напряженно-деформированного состояния трубопроводов, которые в отдельных сечениях могут достигать пре-

дельных состояний и, как следствие, привести к аварийной ситуации.

В табл. 1 на примере компаний «Краснолиманская» и «Ровенькиантрацит» приведены основные характеристики технологических трубопроводов угольных предприятий, виды их повреждений и ориентировочный срок службы.

Как видно из табл. 1, все трубопроводные системы характеризуются большой протяженностью и низким сроком службы, что в конечном счете определяет безопасность объектов угольной промышленности и материальные затраты на их эксплуатацию.

Поэтому систематический контроль технического состояния технологических трубопроводов на угольных предприятиях является очень актуальным и в части выполнения Законов Украины [2–6].

Актуальность этой проблемы отражена в Законе Украины «О трубопроводном транспорте» следующим образом:

а) «Предприятия, учреждения и организации трубопроводного транспорта обязаны обеспечивать диагностический контроль за состоянием трубопроводов действующими средствами согласно правилам технической эксплуатации и нормативным актам по диагностике»;

б) «Техническое переосвидетельствование объектов трубопроводного транспорта по достижении ими амортизационного срока службы в случае преждевременного старения, изношенности и частичной потери надежности и безопасности».

Основные повреждения и аварии трубопроводов, связанные с износом, коррозией и др. эксплуатационными дефектами металла, сварных соединений [7] и изоляционных покрытий, в настоящее время не могут быть своевременно предотвра-

Таблица 1. Характерные технологические трубопроводы угольных предприятий

Объект, в который входит трубопровод	Транспортируемое вещество	Диаметр, мм	Давление, МПа	Протяженность, км.	Виды повреждений (срок службы, лет)
Водоотливные установки шахты «Краснолиманская»	Техническая вода	325; 426	0,6...5,0	Более 2,0	Разрывы труб, утечки, утонение стенки, уменьшение проходного сечения в результате отложения солей
Продуктопроводы ЦОФ «Краснолиманская»	Техническая вода	108; 219; 325; 530	0,15...0,5	9,5	Утечки, утонение стенки, просадка линий трубопроводов (более 5)
	Магнетитовая суспензия	219	0,15...0,25	0,22	Утечки, утонение стенки (0,25...1,5)
	Оборотная и подрешетная вода, шлам, флотохвосты	219; 325; 426; 530	0,2...0,5	7,0	Утонение стенки, просадка линий трубопроводов, утечки (1...3)
Продуктопроводы ЦОФ «Комendanтская»	Техническая вода	219; 325	0,3	10,7	Утонение стенки, утечки (2,0...2,5)
	Оборотная вода, шлам, хвосты	219; 325; 630	0,2...0,3	12,2	Утечки, утонение стенки (0,5...1,5)
	Техническая вода (водовод от Исаковского водохранилища до промплощадки ЦОФ)	425	3,0	33,0	Утечки, утонение стенки, разрывы труб (2,5...3,0)
Трубопроводы общего назначения	Пар, вода, газы, топливо, хладагенты	Варьируются в пределах требований НТД на трубопроводы общего назначения			Характерные повреждения изоляции, металла трубы, сварных соединений

щены, так как большинство энергомеханических служб угольных предприятий не оснащены современными средствами неразрушающего контроля (НК), позволяющими объективно проводить комплексное обследование и отсутствует нормативная база для его проведения.

При этом основными факторами, определяющими техническое состояние стальных трубопроводов, являются:

- состояние металла труб и качество сварных соединений;
- состояние и тип изоляционного покрытия;
- состояние электрохимической защиты (наличие на трубопроводах анодных и знакопеременных зон);

– герметичность трубопроводов.

В соответствии с этими факторами в ГП «Институт «УкрНИИпроект» разработаны для угольной отрасли критерии комплексной оценки технического состояния технологических трубопроводов (табл. 2) по аналогии с теми, которые ранее апробированы для газопроводов и тепловых сетей в жилищно-коммунальном хозяйстве.

Общая оценка технического состояния трубопровода ( $N_{\Sigma}$ ) определяется по бальной системе путем суммирования оценок по основным критериям по формуле:

$$N_{\Sigma} = K_{\text{общ}} (B_1 + B_2 + B_3 + B_4 + B_5 + B_6 + B_7),$$

где  $K_{\text{общ}} = K_1 + K_2 + K_3$ ;  $K_1, K_2, K_3$  – весовые коэффициенты, которые учитывают для трубопро-

Таблица 2. Критерии комплексной оценки технического состояния трубопроводов

Наименование критерия оценки	Виды выявляемых дефектов (отклонений от нормы)	Метод контроля	Оценка критерия в баллах
Герметичность	Коррозия, трещины, повреждения сварных соединений	Опрессовка, акустико-эмиссионный (АЭ), проникающими веществами, газовый и др.	$B_1$
Изоляционное покрытие	Прилипаемость, хрупкость, трещины, оголение металла, расслаиваемость, влага под изоляцией и т. п.	Визуальный, надтрассовый электромагнитный	$B_2$
Металл трубы	Коррозия, абразивный износ	Визуальный, УЗК, толщинометрия	$B_3$
Сварные соединения	Трещины, непровар, раскрытие шва и т. п.	УЗК, АЭ, радиографический	$B_4$
Напряженно-деформированное состояние (НДС) металла	Деформация, изгиб, провисание и т. п.	Тензометрический, магнитоупругий	$B_5$
Коррозионная опасность	Наличие анодных и знакопеременных зон	Электрический	$B_6$
Электрохимическая защита (ЭХЗ)	Отсутствие ЭХЗ	Визуальный	$B_7$

водов соответственно факторы: «Назначение», «Месторасположение» и «Способ прокладки» и определяют допустимое значение  $[N_{\Sigma}]$ ;  $B_1-B_7$  – количество баллов, характеризующих оценку по соответствующему критерию.

Полученное в результате обследования трубопровода значение общей оценки  $N_{\Sigma}$  сравнивается с допустимым значением  $[N_{\Sigma}]$  для соответствующего объекта.

Общая оценка технического состояния определяется по неравенству:

$N_{\Sigma} \geq [N_{\Sigma}]$  – удовлетворительное состояние трубопровода;

$N_{\Sigma} < [N_{\Sigma}]$  – неудовлетворительное состояние трубопровода.

Представленный подход к комплексной оценке технического состояния трубопроводов заложен в разработанный ГП «Институт «УкрНИИпроект» отраслевой стандарт ГСТУ 101.00174125.002–2003 «Правила обстежень, оцінка технічного стану технологічних трубопроводів вугільних підприємств» [8]. Используемые в настоящее время для контроля трубопроводов традиционные методы НК (радиографический, ультразвуковой, магнитный, в т. ч. с использованием внутритрубных снарядов) имеют ограниченную область применения в части обнаружения развивающихся в процессе эксплуатации дефектов типа трещин и зон значительных пластических деформаций металла и сварных соединений. АЭ метод контроля позволяет накапливать информацию о динамике возникновения и развития повреждений в металле непосредственно в процессе нагружения и деформирования объекта с последующей интегральной оценкой технического состояния. К тому же, обнаруженные с помощью АЭ дефекты (особенно трещины), являются развивающимися, т. е. особо опасными, поэтому при использовании этого метода вопрос о степени опасности дефектов решается автоматически.

В ГП «Институт «УкрНИИпроект» разработан, изготовлен и прошел испытания в стендовых и производственных условиях комплекс АЭ контроля трубопроводов КАРАТ (рис. 1).

Комплекс КАРАТ состоит из переносного компьютера класса Notebook, четырех датчиков, со-



Рис. 1. Общий вид комплекса КАРАТ

вмещенных с предварительными усилителями, устройства обработки, имитатора, аккумулятора, сетевого блока питания и комплекта кабелей.

Комплекс контроля КАРАТ предназначен для обнаружения в стальных трубопроводах утечек транспортируемого вещества, а также выявления в металле трубы развивающихся под нагрузкой дефектов типа трещин и значительных зон пластической деформации в местах утонения стенок трубы [9].

Разработанная аппаратная часть и программное обеспечение комплекса КАРАТ позволяют выполнять следующие основные функции:

- выявление и определение координат утечки вещества путем приема акустических сигналов в звуковом диапазоне частот, которые вызваны течью;
- выявление и определение координат подрастающих дефектов, или распространение значительной пластической деформации путем приема акустических сигналов в ультразвуковом диапазоне частот;
- проведение классификации дефектов, которые развиваются, по степеням их опасности.

На рис. 2 приведены образцы регистрации с помощью комплекса КАРАТ утечки воды из трубопровода и сигналов, принятых от имитатора АЭ.

Эффект от внедрения комплекса КАРАТ при оценке технического состояния технологических трубопрово-

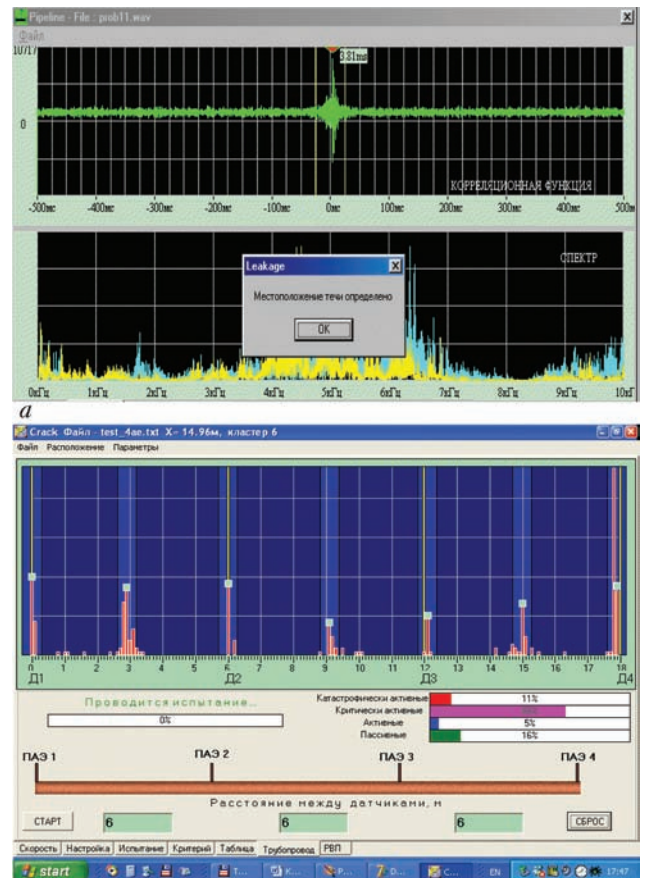


Рис. 2. Регистрация с помощью комплекса КАРАТ: утечки воды из трубопровода (а); сигналов АЭ (б)



дов промышленных предприятий и трубопроводов общего назначения достигается за счет:

- обеспечения безопасности эксплуатации трубопроводов;
- исключения и сокращения потерь теплоносителей и др. продуктов в результате предупреждения повреждений и аварий на ранней стадии развития дефектов;
- сокращения простоев оборудования во время обследования трубопроводов;
- исключения необходимости или сокращения объемов шурфования для обследования технического состояния металла и сварных соединений подземных трубопроводов;
- сокращения трудоемкости обследования трубопроводов по сравнению с традиционными методами НК, в результате отсутствия подготовительных операций (зачистка и др.) и уменьшения времени непосредственного контроля;
- неотключения потребителей во время обследования трубопроводов, которые могут контролироваться в процессе их эксплуатации;
- обоснованного планирования сроков и объемов работ, связанных с техническим обслуживанием и ремонтом трубопроводов по их фактическому техническому состоянию.

В результате, использование в практике обследования и паспортизации технологических трубопроводов комплексной оценки их технического состояния по бальной системе и комплекса АЭ контроля КАРАТ позволило повысить работоспособность и безопасность эксплуатации таких объектов повышенной опасности, как технологические трубопроводы угольных предприятий [10].

### Выводы

Для более достоверной оценки технического состояния стальных технологических трубопроводов угольных предприятий по результатам их обследований разработаны:

- методика комплексной оценки технического состояния трубопроводов по бальной системе путем суммирования оценок по основным критериям;
- комплекс АЭ контроля трубопроводов КАРАТ для обнаружения утечек транспортируемого вещества, а также выявления в металле трубы развивающихся под нагрузкой дефектов типа трещин и значительных зон пластической деформации в местах утонения трубы. В результате ГП «Институт «УкрНИИпроект», был разработан отраслевой стандарт ГСТУ 10100174125.002–2003 «Правила обследования, оценка технического состояния технологических трубопроводов угольных предприятий». Выполнение рекомендаций этого нормативно-технического документа обеспечивает повышение работоспособности и безопасности эксплуатации технологических трубопроводов угольных предприятий.

### Список литературы

1. Баклашов И. В., Антонов Г. П., Борисов В. Н. (1979) *Проектирование зданий и сооружений горных предприятий*. Москва, Недра.
2. Закон України «Про трубопровідний транспорт» від 15.05.1996 № 192/96-ВР.
3. Закон Украины «Об охране окружающей природной среды» от 02.12.2010 № 2756-VI.
4. Закон України «Про об'єкти підвищеної небезпеки» від 18.01.2001 № 2245-III.
5. Гірничий Закон України від 06.10.1999 № 1127-XIV.
6. Кодекс України «О недрах» от 22.12.2010 № 2849-VI.
7. Троицкий В. А. (2009) *Визуальный и измерительный контроль деталей машин, металлоконструкций, сварных соединений*. Киев, Феникс.
8. ГСТУ101.00174125.002-2003. *Правила обстежень, оцінка технічного стану технологічних трубопроводів вугільних підприємств*. Введено 21.12.2003.
9. Кулиш В. А., Крылов Э. С., Яций А. В. и др. (2005) *Аппаратура контроля трубопроводов акустико-эмиссионным методом. Материалы научно-практической конференции «Вплив руйнівних повеней та зсувних процесів на функціонування магістральних нафтопроводів, залізниць, автошляхів та електромереж. Екологічна безпека та перспективи розвитку трубопровідного транспорту, інших інженерних комунікацій»*. Ужгород, сс. 43–49.
10. Крылов Э. С., Кулиш В. А., Литвиненко Л. Е. (2016) *Обеспечение работоспособности и безопасности эксплуатации объектов технологических комплексов угольных предприятий. Техническая диагностика и неразрушающий контроль*, 1, 53–58.

### References

1. Baklashov I. V., Antonov G. P., Borisov V. N. (1979) *Proektirovanie zdaniy i sooruzheniy gornykh predpriyatiy*. Moskva, Nedra. [in Russian].
2. Zakon Ukrainy « Pro truboprovodnyi transport» vid 15.05.1996 № 192/96-VR. [in Ukrainian].
3. Zakon Ukrainy «Ob ohrane okruzhayuschey prirodnoy sredy» ot 02.12.2010 № 2756-VI. [in Russian].
4. Zakon Ukrainy «Pro ob'ekty pidvyshchenoi nebezpeky» vid 18.01.2001 № 2245-III. [in Ukrainian].
5. Hirnychiy Zakon Ukrainy vid 06.10.1999 № 1127-XIV. [in Ukrainian].
6. Kodeks Ukrainy «O nedrah» ot 22.12.2010 № 2849-VI.
7. Troitsky V. A. (2009) *Vizualny i izmeritelny kontrol detal'nykh mashin, metallokonstruktsiy, svarnykh soedineniy*. Kiev, Feniks. [in Russian].
8. GSTU101.00174125.002-2003. *Pravila obstezhen, otsinka tekhnichnogo stanu tekhnologichnykh truboprovodiv vugilnykh pidpriemstv*. Vvedeno 21.12.2003. [in Ukrainian].
9. Hirnychiy Zakon Ukrainy vid 06.10.1999 № 1127-XIV. [in Ukrainian].
10. Krylov E. S., Kulish V. A., Litvinenko L. Ye. (2016) *Ensuring serviceability and safe operation of coal processing facility equipment. Tekhnicheskaya diagnostika i nerazrushayushchy kontrol*, 1, 53–58. [in Russian].

Е. С. КРИЛОВ, В. А. КУЛИШ

ДП «Інститут «УкрНДІпроект» Мінерговугілля України.  
03142, м Київ, просп. Акад. Палладіна 46/2.  
E-mail: ukrndipr@ukr.net

### НЕРУЙНІВНИЙ КОНТРОЛЬ І ОЦІНКА ТЕХНІЧНОГО СТАНУ СТАЛЕВИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ТРУБOPPOBODІВ ВУГІЛЬНИХ ПІДПРИЄМСТВ

Для сталевих технологічних трубопроводів вугільних підприємств розроблена комплексна оцінка їх технічного стану

за бальною системою. В якості критеріїв оцінки використані фактори, що впливають на технічний стан трубопроводів. Розроблено та випробувано комплекс акустико-емісійного контролю КАРАТ для виявлення витоків, а також виявлення в металі труби дефектів типу тріщин, що розвиваються під навантаженням. За результатами досліджень розроблено галузевий стандарт ГСТУ 101.00174125.002–2003. Бібліогр. 10, табл. 2, рис. 2.

Ключові слова: технологічний трубопровід, вугільне підприємство, неруйнівний контроль, оцінка технічного стану, галузевий стандарт, акустична емісія

E. S. KRYLOV, V. A. KULISH

SE «Institute of «UrkNIIProekt» of Minenergouglya of Ukraine.  
46/2 Acad. Palladin avenue, Kyiv, 03142 E-mail: urkndipr@urk.net

## NON-DESTRUCTIVE TESTING AND EVALUATION OF TECHNICAL STATE OF STEEL TECHNOLOGICAL PIPELINES OF COAL ENTERPRISES

Complex evaluation of technical state by grade system was developed for steel technological pipelines of coal enterprises. The criteria for evaluation are the factors effecting technical state of the pipelines. The KARAT complex of acoustic-emission testing was developed for leakage detection as well as determination of defects of crack type propagating at loading in pipe metal. Branch standard GSTU 101.00174125.002–2003 was developed based on research results. Ref. 10. Tables 2, Figures 2.

Keywords: technological pipeline, coal enterprise, non-destructive testing, technical state evaluation, branch standard, acoustic emission

Поступила в редакцію  
08.02.2017



Институт электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины  
Национальный технический университет Украины  
«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»  
Международная Ассоциация «Сварка»

# Восьмая международная конференция ЛУЧЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СВАРКЕ И ОБРАБОТКЕ МАТЕРИАЛОВ

11 – 15 сентября 2017 г.  
Украина, Одесса, отель «Курортный»

Председатели программного комитета  
академик И.В. Кривцун  
проф. В.С. Коваленко

## Тематика конференции

- Лазерная и электронно-лучевая сварка, резка, наплавка, термообработка, нанесение покрытий
- Электронно-лучевая плавка и рафинирование
- Гибридные процессы
- 3D-технологии
- Моделирование лучевых технологий
- Материаловедческие проблемы лазерных и электронно-лучевых технологий

ОБОРУДОВАНИЕ ♦ ТЕХНОЛОГИИ ♦ МОДЕЛИРОВАНИЕ

### АДРЕС ОРГКОМИТЕТА

Украина, 03680, г. Киев, ул. Казимира Малевича, 11  
Институт электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины  
Тел./факс: (38044) 200-82-77, 200-81-45  
E-mail: journal@paton.kiev.ua  
<http://pwi-scientists.com/rus/twmp2017>