

## СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ КОМПЛЕКСЕ

А.Я. Недосека, С.А. Недосека, М.А. Яременко, М.А. Овсиенко

ИЭС им. Е.О. Патона НАН Украины. 03150, г. Киев, ул. Казимира Малевича, 11. E-mail: [office@paton.kiev.ua](mailto:office@paton.kiev.ua)

Рассмотрены условия, в которых работают элементы паровых котлов, причины возможных аварий на барабанах котлов тепловых станций, методы проведения контроля и оценки их технического состояния. Представлена технология диагностирования барабана котла с использованием метода акустической эмиссии. Проанализированы результаты внедрения данной технологии непрерывного акустико-эмиссионного мониторинга барабана котла ТГМ-96. Библиогр. 13, рис. 9.

*Ключевые слова:* барабан котла, акустическая эмиссия, акустико-эмиссионная технология, мониторинговые системы, оценка состояния конструкций

Теплоэнергетический комплекс (ТЭК) играет особо важную роль в экономике любой страны. Без его продукции практически невозможно функционирование всех отраслей. Важное место в энергетическом секторе занимают тепловые электростанции, в которых используется органическое топливо: газ, мазут, уголь. Успешная эксплуатация данных объектов энергетики зависит от множества факторов: срок эксплуатации; режим эксплуатации; рабочая среда; своевременность и качество оценки состояния материала конструкций; проведение объективного технического диагностирования; выполнение ремонтов; замена комплектующих и др. [1–4].

Рассмотрим факторы обеспечения безопасной эксплуатации объектов на примере барабанов паровых котлов (рис. 1). Большая часть отечественного парка барабанов котлов (85...90 %) выработала парковый ресурс, поэтому актуальной задачей является обоснованное продление паркового ресурса барабанов [5].

Барабан парового котла является одним из наиболее ответственных его элементов, в котором аккумулируется большое количество тепловой энергии. Барабан котла предназначен для сбора и раздачи рабочей среды, для отделения пара от воды, очистки пара, обеспечения запасов остаточной воды в котле. Условия, в которых работают элементы паровых котлов во время эксплуатации, чрезвычайно разнообразны и сложны, так как металл находится одновременно под воздействием высоких температур, механических напряжений и агрессивной среды, в результате чего в металле могут возникнуть изменения структуры и механических свойств, явления ползучести, коррозия, что может привести к его разрушению [6].

Разрушение барабана котла в процессе эксплуатации – серьезная проблема, которая влечет за собой значительные материальные затраты на ре-



Рис. 1. Внешний вид барабана котла ТГМ-96

монт и восстановление объекта, создает тяжелые производственные проблемы.

К факторам риска можно отнести: конструкционно-технологические (качество изготовления листов, сварки корпуса, сварки внутрибарабанных устройств, термическая обработка, коэффициент запаса прочности) и эксплуатационные (режимы эксплуатации, водно-химический режим, гидроиспытания) [7].

В настоящее время оценка работоспособности барабанов котлов осуществляется преимущественно с помощью расчетных алгоритмов, которые не учитывают изменения структурного состояния продолжительно работающего металла, а также процессы зарождения и накопления структурной поврежденности. Первоочередной становится задача совершенствования методов оценки ресурса основного и наплавленного металла барабанов котлов высокого давления на основе применения инструментальных методов контроля. Концепция, основанная на прогнозировании и предупреждении, получает все более широкое распространение вместо используемой концепции выявления и устранения [8]. Независимо от причин возникновения аварий, их последствия могут быть очень серьезными. Поэтому для обеспечения надежной эксплуатации конструкций актуальным становится именно непрерывный контроль их работоспособности и прогнозирование ее на период времени, необходимый для предотвращения возможных аварийных ситуаций.

Вопросы диагностики и мониторинга технического состояния объектов ТЭК заслуживают отдельного рассмотрения [9]. Выполнение различных нормативных документов требует при освидетельствовании и продлении ресурса барабанов котлов проведения ряда мероприятий, некоторые из которых выполнить без ущерба для конструкции довольно сложно, например, вырезать образцы для проведения исследований. Требования нормативных документов стимулируют разработку новых подходов к решению текущих проблем, разработки новых современных технологий и методов контроля за состоянием конструкции.

Для неформального решения комплексной проблемы по оценке состояния барабана котла ТГМ-96

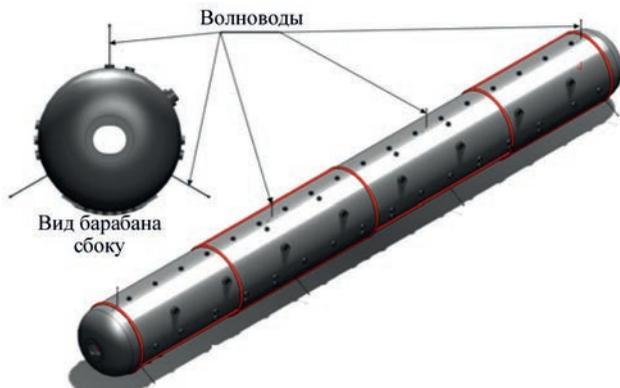


Рис. 2. Размещение волноводов (датчиков АЭ) на поверхности объекта

(водотрубный котел с природной циркуляцией) и продления его реального ресурса специалистами ИЭС и КП «Киевтеплоэнерго» предложена технология акустико-эмиссионного (АЭ) мониторинга состояния материала корпуса барабана котла, 100 % контроля поверхности барабана и сварных врезок трубопроводов в его корпус. Предварительно проведен анализ материалов по особенностям эксплуатации барабанов котлов, изучена техническая документация на объект АЭ мониторинга и свойства материала барабана котла (сталь 16ГНМА), проведены опытно-экспериментальные работы на объекте: разработаны схемы размещения датчиков АЭ, проведен АЭ контроль на различных этапах эксплуатации объекта, разработаны технические требования к системе АЭ мониторинга барабана котла ТГМ-96 и ее составляющим.

Характеристики объекта контроля приведены ниже.

**Краткая техническая характеристика барабана котла**

Рабочее давление, кг/см<sup>2</sup>:

в барабане .....	156
на выходе из пароперегревателя .....	140
Рабочая температура перегретого пара, °С.....	570
Продуктивность, т/ч .....	480
Рабочая среда .....	Перегретый пар
Материал.....	Сталь 16ГНМА
Диаметр (вн.); длина (цил.), мм.....	1700; 17700
Толщина, мм.....	114...118
Год изготовления.....	1969

Учитывая специфику работы барабана котла (высокие избыточное давление и температура) для получения информации с объекта возникла необходимость обеспечить стабильную длительную работу датчиков сигналов АЭ, обоснованно выбрать количество и схему размещения датчиков на волноводах на поверхности контролируемого объекта. После проведения предварительных исследований акустических характеристик объекта определено необходимое количество датчиков АЭ для проведения мониторинга – на поверхности барабана котла установлено 12 датчиков АЭ с использованием волноводов (рис. 2).

Уточненная схема размещения датчиков представлена на рис. 3, фото датчика на волноводе – рис. 4. На базе установленных датчиков могут

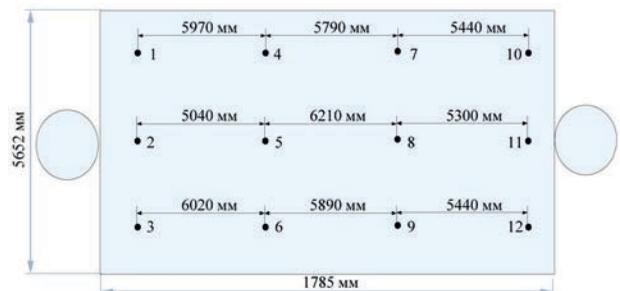


Рис. 3. Уточненная схема размещения датчиков АЭ (1–12) на объекте

быть сформированы различные локационные антенны (зонные, линейные, цилиндрические) для регистрации зон повышенной АЭ активности и локализации возможных дефектов.

Основные задачи АЭ мониторинга – обеспечение безопасной эксплуатации барабана котла в штатном режиме [10], своевременное обнаружение и регистрация АЭ зон, которые могут свидетельствовать о наличии дефектов различной природы происхождения (от изменения свойств материала конструкций до развивающихся трещин), определение координат мест повышенной АЭ активности, определение динамики их изменения, выдача рекомендаций для дальнейшей эксплуатации объекта контроля, а также определение участков, где необходимо провести дополнительный контроль другими неразрушающими методами. Диагностирование производится согласно действующим нормативным документам.

На фото (рис. 5) приведен общий вид приборной части системы АЭ мониторинга. Прибор установлен в специальном защитном шкафу в соответствии с требованиями техники безопасности. Внешний вид экрана монитора системы при работе в штатном режиме эксплуатации объекта показан на рис. 6, при проведении АЭ контроля объекта при выходе на рабочий режим эксплуатации – на рис. 7.



Рис. 4. Датчик АЭ на волноводе



Рис. 5. Система АЭ мониторинга EMA-3

Программное обеспечение (ПО) системы АЭ диагностирования [11] анализирует поступающую информацию и выдает предупреждения в случае возникновения опасности в реальном режиме времени. На рис. 7 показано, что система АЭ мониторинга выдала предупреждения первого уровня (желтый цвет) и предупреждение второго уровня (красный цвет) с выдачей прогнозных оценок нагружения объекта. Информация о выдаче системой предупреждений разного уровня опасности и прогнозных оценок за весь период мониторинга объекта позволяет своевременно проанализировать параметры работы объекта и не допустить возникновения аварийных ситуаций. Эта информация хранится в специальных файлах и доступна для просмотра и детального анализа за любой период наблюдения. В качестве примера проанализируем данные за период с 01.01.2017 по 01.01.2019 (рис. 8).

Представленный график (рис. 8) показывает периоды повышенной акустической активности. Цвет и высота столбца соответствуют уровню предупреждения об опасности [11]. Желтый цвет – обратить внимание на текущее состояние объ-

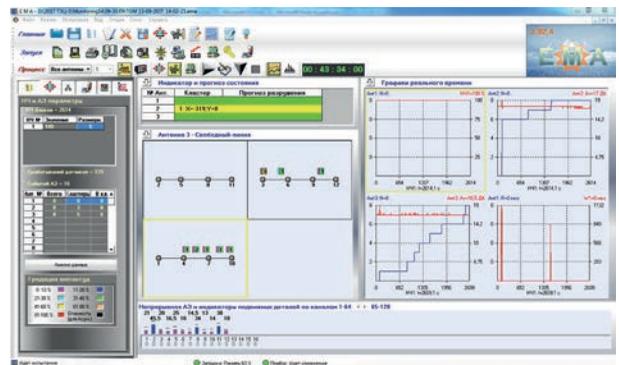


Рис. 6. Вид экрана АЭ мониторинга в рабочем режиме



Рис. 7. Результаты АЭ контроля объекта при выходе на рабочий режим (описание см. в тексте)

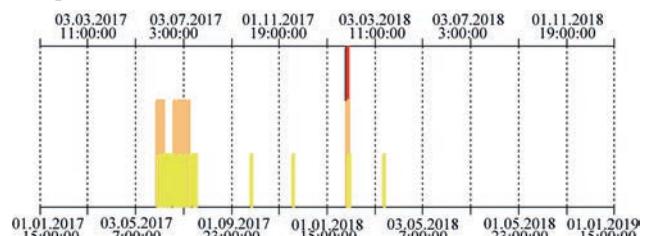


Рис. 8. Выдача системой АЭ мониторинга предупреждений разного уровня опасности (описание см. в тексте)

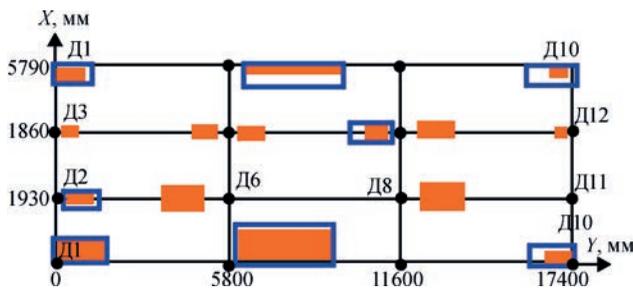


Рис. 9. Зоны повышенной АЭ активности

екта; оранжевый – повысит внимание; красный означает опасность и предполагает, в зависимости от особенностей работы объекта, изменение технологических параметров его эксплуатации.

На представленном графике можно видеть предупреждения всех трех уровней и время их регистрации системой. Это позволяет сопоставить возникающие предупреждения с особенностями технологических процессов.

По результатам проводимого АЭ мониторинга барабана котла определены зоны повышенной АЭ активности для последующего их контроля другими неразрушающими методами (рис. 9).

Опыт проведения работ по АЭ мониторингу потенциально опасных объектов [12, 13] и анализ информации, полученной с данного объекта, позволили создать методику непрерывного АЭ мониторинга барабана котла ТГМ-96 и подтвердили эффективность применения разработанной технологии его диагностирования с использованием метода АЭ.

### Выводы

1. Разработанная и апробированная на потенциально опасном объекте – барабане котла – технология АЭ мониторинга позволила проводить техническое диагностирование объекта на рабочих параметрах эксплуатации, своевременно принимать решение о его техническом состоянии, предотвращать возможные аварийные ситуации на объекте, проводить дополнительный контроль в местах, указанных системой АЭ мониторинга, что значительно уменьшает возможные простои оборудования, затраты и время на проведение ремонтных работ и оценку качества их выполнения, сокращает количество гидроиспытаний барабана котла.

2. Проведение непрерывного АЭ мониторинга барабана котла ТГМ-96 позволяет накапливать, анализировать и оценивать динамику изменения статистических данных о наиболее опасных участках объекта контроля и режимах эксплуатации, когда возникает наибольшая опасность для его функционирования, и своевременно информировать об этом специалистов предприятия с целью повышения безопасности эксплуатации барабана котла.

3. Рекомендуем технологию непрерывного АЭ мониторинга для оценки технического состояния

барабанов котлов ТГМ-96 и аналогичных промышленных объектов.

### Список литературы

- (1996) ДНАОП 0.00-1.26-96 *Правила будови і безпечної експлуатації парових котлів з тиском пари не більше 0,07 МПа (0,7 кгс/см<sup>2</sup>), водогрійних котлів і водопідігрівачів з температурою нагріву води не вище 115 °С*. Київ.
- (2012) НПАОП 0.00-1.60-66 *Правила устройства и безопасной эксплуатации паровых и водогрейных котлов*. Харьков, ФОРТ.
- (2004) СО 15334.17.442-2003 *Инструкция по порядку продления срока службы барабанов котлов высокого давления*. Москва, ЦПТИ ОРГРЭС.
- Антикайн П.А., Зыков А.К. (1985) *Эксплуатационная надежность объектов котлонадзора*. Справочник. Москва, Metallurgiya.
- Гонтаровский П.П., Протасова Т.В., Глядя А.А., Пожидаев А.В. (2013) Оценка термонапряженного состояния барабана котла ТГМЕ-464. *Проблемы машиностроения*, 16, 1, 44–51.
- Абабков Н.В. (2011) *Совершенствование технологии оценки ресурса сварных барабанов котлов с применением акустических и магнитных методов*: автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.01.10.
- Гринь Е.А. (2009) *Повреждаемость барабанов котлов из стали 16ГНМ*. Москва, Технический комитет по надежной и безопасной работе ТЭС.
- Патон Б.Е., Лобанов Л.М., Недосека А.Я. (2016) Интеллектуальные технологии в оценке состояния конструкций (АЭ технология и контролирующая аппаратура нового поколения на ее основе). *Техническая диагностика и неразрушающий контроль*, 2, 3–18.
- Патон Б.Е., Лобанов Л.М., Недосека А.Я. и др. (2014) О применении АЭ технологии при непрерывном мониторинге трубопроводов энергетических комплексов, работающих при высокой температуре. *Там же*, 3, 7–14.
- Недосека А.Я., Недосека С.А., Яременко М.А. и др. (2014) Об управлении безопасностью эксплуатации оборудования, несущего рабочую нагрузку. Непрерывный акустико-эмиссионный мониторинг. *Хімічна промисловість України*, 1, 10–21.
- Недосека А.Я., Недосека С.А., Яременко М.А. и др. (2013) Программное обеспечение систем АЭ диагностики ЕМА-3-9. *Техническая диагностика и неразрушающий контроль*, 3, 16–22.
- Патон Б.Е., Лобанов Л.М., Недосека А.Я. и др. (2012) *Акустическая эмиссия и ресурс конструкций: теория, методы, технологии, средства, применение*: альбом. Киев, Индпром.
- Недосека А.Я., Недосека С.А., Яременко М.А., Овсиенко М.А. (2018) Применение технологии акустико-эмиссионного контроля при оценке состояния сосудов химического производства. *Техническая диагностика и неразрушающий контроль*, 1, 34–41.

### References

- (1996) DNAOP 0.00-1.26-96: *Rules of construction and safe operation of steam boilers with steam pressure of not more than 0.07 MPa (0.7 kgf/cm<sup>2</sup>), and hot water boilers and water heaters with water heating temperature not high than 115 °C*. Kyiv [in Ukrainian].
- (2012) NPAOP 0.00-1.60-66: *Rules for design and safe operation of steam and hot water boilers*. Kharkiv, FORT [in Russian].
- (2004) SO 15334.17.442-2003: *Instructions on how to extend the life of drums of high pressure boilers*. Moscow, TsPTI ORGRES [in Russian].
- Antikaj, P.A., Zykov, A.K. (1985) *Safe operation of boiler supervision facilities*: Refer. book. Moscow, Metallurgiya [in Russian].
- Gontarovskiy, P.P., Protasova, T.V., Glyadya, A.A., Pozhidaev, A.V. (2013) Evaluation of thermal stressed state of drum of TGME-464 boiler. *Problemy Mashinostroeniya*, 16(1), 44-51 [in Russian].

6. Ababkov, N.V. (2011) *Improvement of the technology for evaluation of service life of welded drums of boilers with application of acoustic and magnetic methods*. In: Syn. of Thesis for Cand. of Tekh. Sci. Degree [in Russian].
7. Grin, E.A. (2009) *Damageability of drums of 16GNM steel boilers*. Moscow, Technical Committee for Reliable and Safe Operation of TPPs [in Russian].
8. Paton, B.E., Lobanov, L.M., Nedoseka, A.Ya. et al. (2016) Intelligent technologies in evaluation of the state of structures (AE technology and new generation controlling instrumentation based on it). *Tekh. Diagnost. i Nerazrush. Kontrol*, **2**, 3–18 [in Russian].
9. Paton, B.E., Lobanov, L.M., Nedoseka, A.Ya. et al. (2014) On application of AE technology at continuous monitoring of piping of power units operating at high temperature. *Ibid.*, **3**, 7–14 [in Russian].
10. Nedoseka, A.Ya., Nedoseka, S.A., Yaremenko, M.A. et al. (2014) On management of safe operation of equipment under working load. Continuous acoustic emission monitoring. *Khimichna Promyslovist Ukrainy*, **1**, 10–21 [in Russian].
11. Nedoseka, A.Ya., Nedoseka, S.A., Yaremenko, M.A. et al. (2013) Software of AE diagnostic systems EMA-3.9. *Tekh. Diagnost. i Nerazrush. Kontrol*, **3**, 16–22 [in Russian].
12. Paton, B.E., Lobanov, L.M., Nedoseka, A.Ya. et al. (2012) *Acoustic emission and service life of structures: Theory, methods, technologies, means, application*. In: Album. Kiev, Indprom [in Russian].
13. Nedoseka, A.Ya., Nedoseka, S.A., Yaremenko, M.A., Ovsienko, M.A. (2018) Application of the technology of acoustic emission monitoring at evaluation of the condition of vessels in chemical production. *Tekh. Diagnost. i Nerazrush. Kontrol*, **1**, 34–41 [in Russian].

## СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ ДІАГНОСТУВАННЯ ОБЛАДНАННЯ В ТЕПЛОЕНЕРГЕТИЧНОМУ КОМПЛЕКСІ

А.Я. Недосєка, С.А. Недосєка, М.А. Яременко, М.А. Овсієнко

ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України. 03150, м. Київ, вул. Казимира Малевича, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

Розглянуто умови, в яких працюють елементи парових котлів, причини можливих аварій на барабанах котлів теплових станцій, методи проведення контролю і оцінки їх технічного стану. Представлена технологія діагностування барабана котла з використанням методу акустичної емісії. Проаналізовано результати впровадження даної технології безперервного акустико-емісійного моніторингу барабана котла ТГМ-96. Бібліогр. 13, рис. 9.

*Ключові слова:* барабан котла, акустична емісія, акустико-емісійна технологія, моніторингові системи, оцінка технічного стану конструкцій

## MODERN TECHNOLOGIES FOR EQUIPMENT DIAGNOSIS IN THERMAL POWER COMPLEX

A.Ya. Nedoseka, S.A. Nedoseka, M.A. Yaremenko, M.A. Ovsienko

E.O. Paton Electric Welding Institute of the NAS of Ukraine. 11 Kazymyr Malevych Str., 03150, Kyiv.  
E-mail: office@paton.kiev.ua

Operating conditions of steam boiler elements, causes for possible accidents in drums of thermal power plants, and methods of control and assessment of their technical condition are considered. Technology of diagnosing a boiler drum using acoustic emission method is presented. Results introducing this technology of continuous acoustic-emission monitoring of the drum of TGM-96 boiler have been analyzed. 13 Ref, 9 Fig.

*Keywords:* boiler drum, acoustic emission, acoustic-emission technology, monitoring systems, structure state assessment

Поступила в редакцію  
15.03.2019

23–28 марта 2020 г.

Ассоциация технологов-машиностроителей Украины совместно с  
Грузинским техническим университетом

в г. Тбилиси (Грузия) проводит

20-й Международный научно-технический семинар

### СОВРЕМЕННЫЕ ВОПРОСЫ ПРОИЗВОДСТВА И РЕМОНТА В ПРОМЫШЛЕННОСТИ И НА ТРАНСПОРТЕ (M20-1)

#### Тематика семинара

- Современные тенденции развития технологии машиностроения
- Подготовка производства как основа создания конкурентоспособной продукции
- Состояние и перспективы развития заготовительного производства
- Совершенствование технологий механической и физико-технической обработки в машино- и приборостроении
- Упрочняющие технологии и покрытия
- Современные технологии и оборудование в сборочном и сварочном производстве
- Ремонт и восстановление деталей машин в промышленности и на транспорте, оборудование для изготовления, ремонта и восстановления
- Стандартизация, сертификация, технологическое управление качеством и эксплуатационными свойствами изделий машино- и приборостроения
- Внедрение стандартов ДСТУ ISO 9001:2015 в промышленности, высших учебных заведениях, медицинских учреждениях и органах государственной власти.
- Метрология, технический контроль и диагностика в машино- и приборостроении
- Экологические проблемы и их решения в современном производстве

*Организационный комитет:* www.atmu.net.ua