

# СИСТЕМИ АКУСТИКО-ЕМІСІЙНОГО МОНІТОРИНГУ ПРИ ТЕХНІЧНОМУ ДІАГНОСТУВАННІ ПРОМИСЛОВИХ ОБ'ЄКТІВ\*

А.Я. Недосека, С.А. Недосека, 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](mailto:office@paton.kiev.ua)

Наведені узагальнені результати застосування систем безперервного акустико-емісійного моніторингу після проведення модернізації обладнання та відповідного програмного забезпечення на високотемпературних елементах енергетичного обладнання, потенційно небезпечних об'єктах хімічної промисловості, що сприятиме їх надійній безаварійній експлуатації. Бібліогр. 14, рис. 14.

*Ключові слова:* АЕ технологія, системи АЕ моніторингу, барабан котла, аміакосховище тину ST

На протязі багатьох років у відділі «Технічної діагностики зварних конструкцій» ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України проводяться дослідження з технічної діагностики і прогнозування залишкового ресурсу зварних з'єднань, матеріалів, покриттів і конструкцій у процесі їх експлуатації з використанням методу АЕ. Впровадження передових наукових досліджень стало можливим завдяки реалізації цільової програми наукових досліджень НАН України «Надійність і довговічність матеріалів, конструкцій, обладнання та споруд» («Ресурс-2»), що дозволило проводити адаптацію теоретичних розробок до реальних вимог діючого виробництва. При проведенні оцінки стану промислових об'єктів все ширше використовується метод акустичної емісії, а розроблені на його основі системи АЕ контролю та моніторингу успішно впроваджуються на відповідальних промислових об'єктах та, зокрема, на високотемпературних елементах енергетичного обладнання потенційно небезпечних об'єктів, що сприятиме їх надійній і безаварійній експлуатації [1].

Один з об'єктів проведення досліджень та впровадження АЕ технології оцінки технічного стану в процесі експлуатації – барабан котла ТГМ-96 (рис. 1) ТЕЦ-5 (сталь 16ГНМА, довжина 19245 мм, зовнішній діаметр 1800 мм, товщина 115 мм, робочий тиск 156 кг/см<sup>2</sup>, температура 345 °С, рік виготовлення – 1972). Попередньо були вивчені матеріали щодо причин та наслідків пошкодженості барабанів котлів із сталі 16ГНМ, особливостей їх експлуатації [2] та шляхів удосконалення технології оцінки ресурсу зварних барабанів котлів із застосуванням акустичних і магнітних методів [3]. Аналіз наявних матеріалів показав, що застосування систем АЕ моніторингу

на даному об'єкті може значно підвищити безпеку його експлуатації [4].

Проведені дослідно-експериментальні роботи на об'єкті на різних етапах його експлуатації: під час підготовки до проведення планових ремонтних робіт, зупинці об'єкта та при введенні його в режим експлуатації: візуально-оптичний контроль з фіксацією місць корозії, механічних та інших пошкоджень, зміни форми (в місцях доступу), УЗК, вибіркові вимірювання товщини стінки та визначення твердості матеріалу барабану котла, дослідження залишкових механічних напружень. Проведено попередню оцінку стану матеріалу барабану котла розрахунковими методами та АЕ контроль. Це дозволило визначити закони розповсюдження ультразвукових хвиль у матеріалі конструкції, інформативні моди ультразвукових коливань, виміряти рівні акустичних перешкод та визначити їх частотний спектр. Зокрема було встановлено, що коефіцієнт загасання УЗХ на об'єкті складає 0,0275 Нп/м, що дозволяє розносити датчики АЕ для проведення контролю на відстань до 20 м. На підставі проведених досліджень вивчена можливість застосування АЕ технології на об'єкті контролю та місця встановлення датчиків АЕ із застосуванням хвилеводів (з урахуванням робочої температури експлуатації). Визначено, що оптимальна кількість приймальних перетворювачів – 12, відстань між ними – 6 м (рис. 2).

Підготовлено обладнання ЕМА-3 для проведення АЕ моніторингу барабану котла (рис. 3). Характер надходження АЕ інформації з об'єкту з використанням трьох локаційних антен показано на рис. 4.

За результатами проведеного АЕ моніторингу барабану котла визначені зони підвищеної АЕ

\* За результатами виконання цільової комплексної програми НАН України «Проблеми ресурсу і безпеки експлуатації конструкцій, споруд та машин» («Ресурс»), отриманих за 2016-2020 рр.

Недосека А.Я. – <https://orcid.org/0000-0001-9036-1413>, Недосека С.А. – <https://orcid.org/0000-0002-3239-381X>,

Яременко М.А. – <https://orcid.org/0000-0001-9973-4482>, Овсієнко М.А. – <https://orcid.org/0000-0002-2202-827X>

© А.Я. Недосека, С.А. Недосека, М.А. Яременко, М.А. Овсієнко, 2020



Рис. 1. Об'єкт АЕ моніторингу

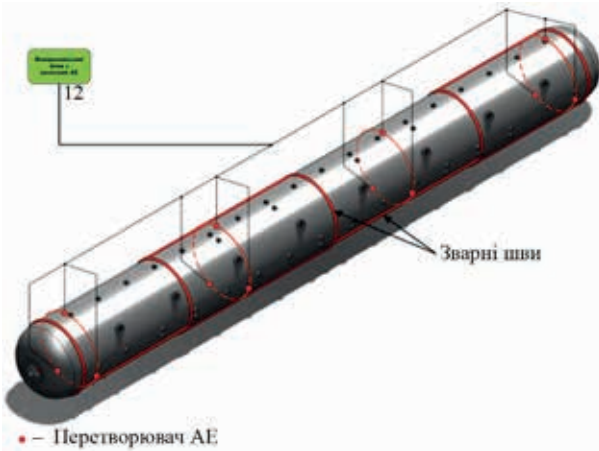


Рис. 2. Схема розміщення датчиків АЕ на об'єкті

активності (рис. 5) для подальшого їх контролю іншими неруйнівними методами. Це значно зменшує обсяг необхідних ремонтних робіт та скорочує термін їх виконання.

Аналіз отриманих результатів АЕ вимірів показав, що можлива подальша експлуатація барабана котла при дотримуванні правил і вимог чинних нормативних документів при умові постійного стеження за технічним станом барабана котла.

Для проведення оцінки технічного стану потенційно небезпечних промислових об'єктів на підприємствах України на протязі останніх років активно використовуються системи ЕМА-3 [5–7], розроблені спільно з угорськими фахівцями. Такі системи встановлені, зокрема, на обладнанні цехів виробництва та перевантаження аміаку ОПЗ, мостових переходах трубопроводів через р. Дніпро ДП «Укрхімтрансаміак», паропроводах ГПП ТЕЦ-6 та барабані котла ТГМ-96 енергоблоку № 1 ТЕЦ-5 (м. Київ).

Проте системи ЕМА-3 працюють вже понад 15 років. За цей час відбувся суттєвий прогрес у розвитку елементної бази, застосуванні цифрових методів обробки інформації. На підставі досвіду проведених дослідно-експериментальних робіт на промислових об'єктах, що працюють в умовах високих температур і шумів, а також аналізу технічного стану та відповідності сучасним вимогам



Рис. 3. Перевірка системи АЕ моніторингу

діючих систем АЕ контролю і моніторингу було прийнято рішення щодо необхідності модернізації обладнання і програмного забезпечення (ПЗ) систем, а також обладнання та методик для його налаштування.

Система АЕ контролю та моніторингу ЕМА-4 є удосконаленим варіантом системи ЕМА-3, що дозволяє здійснити перехід на сучасні системи АЕ контролю та моніторингу з використанням вже встановлених та об'єктах датчиків АЕ, з'єднувальних кабелів, ліній зв'язку, модернізувати ПЗ або використовувати раніше встановлене, що дозволить значно скоротити час на запуск системи на виробництві.

Системи ЕМА-4 використовують найостанніші досягнення в галузі електроніки та обчислювальної техніки. Прилади мають менші розміри і масу, підтримують новітні сучасні інтерфейси передачі даних і характеризуються підвищеною надійністю за рахунок відсутності рухомих компонентів. Збільшилася гнучкість систем, створюваних на основі поєднання кількох приладів. Раніше число вимірювальних модулів, що спільно працюють, складала не більше двох, з максимальним загальним числом каналів не більше 64. Два основних типи приладів, що мають відповідно 4 та 16 каналів АЕ (рис. 6), можуть бути з'єднані у будь-якій послідовності, а загальне число одночасно оброблюваних каналів АЕ збільшено до 128, аналогічно збільшено число НЧ каналів, що передають технологічну інформацію.

Реєструються такі параметри АЕ: енергія сигналу; час затримки між імпульсами, прийнятими різними каналами локаційної антени; середня частота сигналу в імпульсі; порогове значення (при плаваючому пороговому рівні); похибка реєстрації часових параметрів АЕ – 0,125 мкс; похибка реєстрації амплітудних параметрів АЕ – 0,5 дБ. Максимальна швидкість обробки імпульсів одного каналу з записом в довгострокову пам'ять – 1000 ім/с. Інтер-



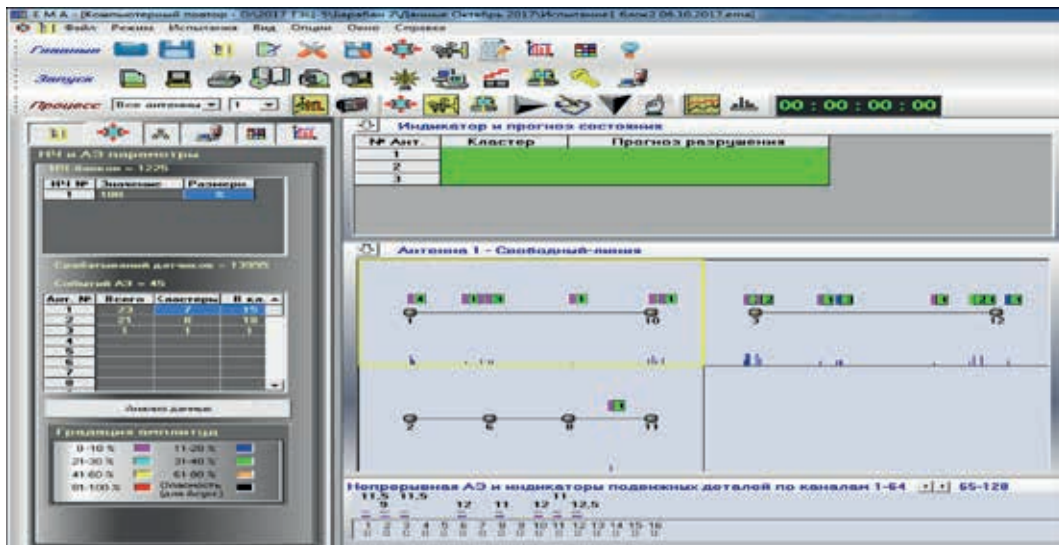


Рис. 4. Основной экран программы EMA при проведенні АЕ моніторингу барабана котла

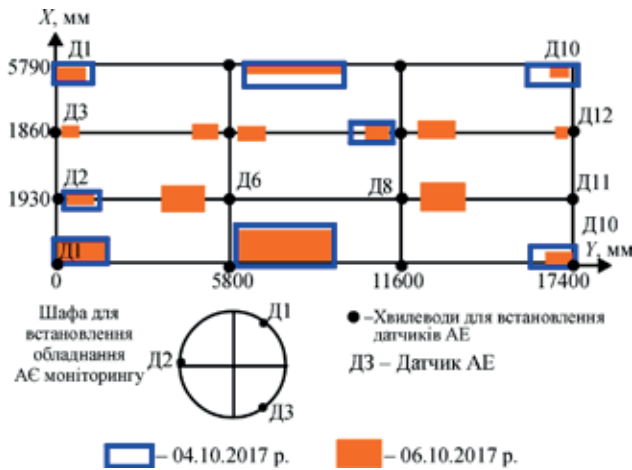


Рис. 5. Зарегистрованные зоны пдввиженной АЕ активности под час проведения АЕ контролю барабана котла бл. № 2 ТЕЦ-5

фейс: стандартный интерфейс зв'язку с компьютером – Ethernet; опциональные интерфейсы зв'язку с компьютером – USB, WIFI, GSM.

Для взаимодействия с новым усовершенствованным оборудованием было доработано ПЗ систем EMA-3.9 [8]. Для этого реализован программный интерфейс для подключения до сети с приборами, полученная от них диагностическая информация и отправки ке-



Рис. 6. Прилады EMA-4 (4-х та 16-ти каналні)

рующих команд. Интерфейс также был переработан для обеспечения возможности отображать данные, которые поступают от каждого АЕ и НЧ канала, выполнять их выбор в алгоритмах первичной или дополнительной обработки, настраивать и конфигурировать совместную работу каналов в составе сложных локационных антен.

При проведении модернизации ПЗ предусмотрена возможность работы с приборами EMA-3 та EMA-4 (рис. 7), что значительно упростит переход на новое оборудование и обеспечит возможность обрабатывать файлы с ранее полученными данными на новом уровне.

Среди новых возможностей ПЗ следует отметить возможность многопараметрической кластеризации, детальный анализ данных АЕ событий та соответствующих действий датчиков, выбор и сравнение данных по отдельным каналам АЕ в виде распределения параметров,

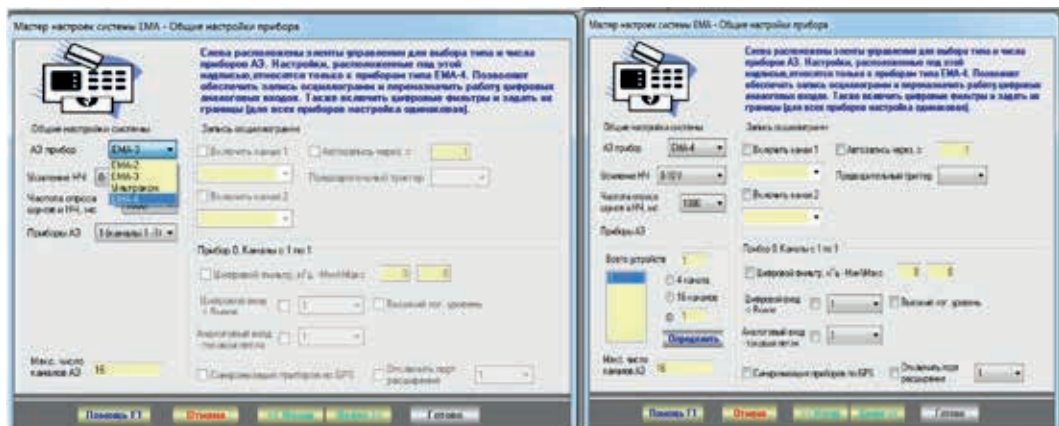


Рис. 7. Выбор прибора АЕ для работы та наладування прибора EMA-4



Рис. 8. Макет обладнання для проведення налаштування АЕ систем



Рис. 9. Аміакосковище ST



Рис. 10. Прилади для АЕ моніторингу та блоки безперервного живлення системи

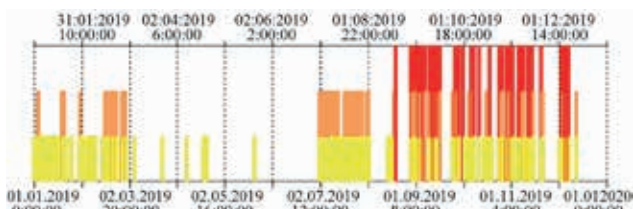


Рис. 11. Видача попереджень про небезпеку для аміакосковища

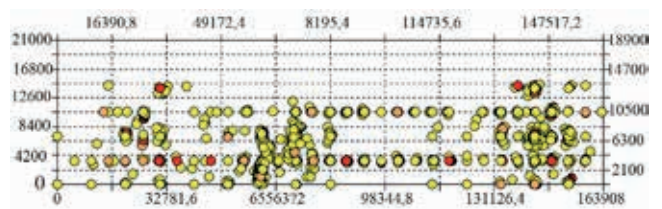


Рис. 12. Інформація щодо розподілу кластерів подій АЕ на бічній поверхні аміакосковища

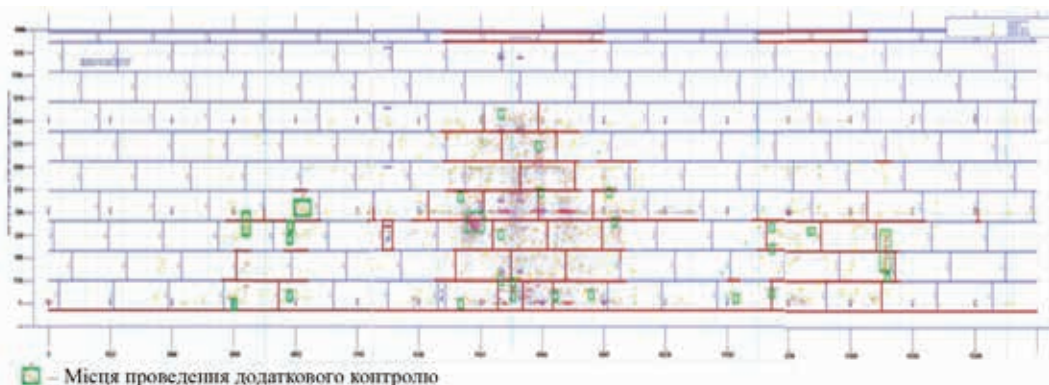


Рис. 13. Зареєстровані під час проведення АЕ моніторингу зони для проведення ДК





Рис. 14. Результати проведення ДК в зонах підвищеної АЕ активності (вибірково)

зберігання даних у вигляді таблиць Excel, кореляцію заданого числа даних неперервної АЕ для вибраного каналу з іншими каналами, статистику небезпек за обраний тривалий період. Доопрацьовано алгоритм та інтерфейс програми для довготривалої оцінки стану об'єктів моніторингу за даними зроблених системою попереджень про небезпеку.

Таким чином, удосконалене обладнання для проведення АЕ контролю і моніторингу промислових об'єктів та оновлене ПЗ дозволяють більш якісно проводити оцінку технічного стану небезпечних об'єктів, що працюють в умовах підвищених температур і шумового фону.

Згідно з нормативними документами всі законодавчо регульовані засоби вимірювальної техніки повинні проходити періодичну повірку. Ця повірка проводилась згідно з методикою, затвердженою ДП «Укрметргестстандарт» [9]. Проте наявна кількість систем ЕМА-3 і перехід на системи ЕМА-4 вимагає модернізації обладнання для підготовки до проведення метрологічної повірки обладнання. У зв'язку з цим були розроблені нові схеми перевірок, що відповідають новим приладам, а також враховують аналогічний досвід в Європі, що представлено у відповідній нормативній документації [10–13].

Розроблені методика та обладнання для проведення перевірки та налаштування АЕ приладів (рис. 8).

Модернізоване обладнання та оновлене ПЗ системи безперервного АЕ моніторингу об'єкту встановлено на аміакосховищі ST (рис. 9) після демонтажу системи ЕМА-3, встановленої у 2002 р. Обладнання (рис. 10) запущено у режим

дослідної експлуатації для відпрацювання оптимальних режимів його роботи.

Характеристика об'єкту АЕ моніторингу (резервуару ST) – циліндровий зварний резервуар з кришкою, що має такі параметри: об'єм 34000 м<sup>3</sup>; робоче середовище: рідкий аміак NH<sub>3</sub>; робоча температура: –34 °С; діаметр 52 м; висота 21 м; марка матеріалу – ASTM-A537.S1;A537.A; поверхня контролю 3,5 тис. м<sup>2</sup>. Дата введення в експлуатацію 7 березня 1978 р. Виробник ADTEK (США).

Системи АЕ моніторингу мають два рівні ПЗ. Перший рівень ПЗ реалізовано безпосередньо у приладах і відповідає за прийом та попередню обробку інформації, що надходить від об'єкту АЕ контролю. В ПЗ другого рівня внесені зміни, пов'язані з удосконаленням обладнання для проведення АЕ моніторингу об'єктів. Проводиться набір статистики та вивчення отриманої інформації для подальшого встановлення критеріїв безпеки вибраних об'єктів.

Проаналізуємо дані, отримані з використанням модернізованого обладнання та ПЗ з аміакосховища за 2019 р. (рис. 11, 12). Відмітимо, що дана програма знаходиться у режимі попереднього тестування.

Після проведення додаткової обробки даних АЕ за вказаний період були визначені місця для проведення додаткового контролю неруйнівними методами на об'єкті АЕ моніторингу – аміакосховищі ST під час проведення планових ремонтних та профілактичних робіт (рис. 13).

Отримані результати проведеного додаткового контролю (рис. 14) показали, що в місцях ви-

дачі системою АЕ моніторингу попереджень про небезпеку різних рівнів відповідно до вимог нормативних документів знайдені дефектні зони, що потребують проведення додаткових робіт або спостереження за їх подальшим розвитком [14].

Проведення додаткового контролю неруйнівними методами у визначених системою безперервного АЕ моніторингу ЕМА-4 місцях показало наявність дефектних зон. Проведені необхідні роботи з їх усунення.

Результати проведених досліджень можуть бути використані як на аналогічних об'єктах ОПЗ, так і на об'єктах енергетичних компаній, елементах технологічного обладнання підприємств хімічної, нафтохімічної та нафтопереробної промисловості для забезпечення безперебійної та безпечної експлуатації об'єктів контролю, виявлення на ранніх стадіях дефектів, що розвиваються у матеріалі об'єктів, визначення гранично припустимих навантажень (внутрішній тиск), а також для запобігання аварійним ситуаціям.

### Список літератури

1. Недосека А.Я., Недосека С.А. (2019) *Основы расчета и диагностики сварных конструкций: монография. 5-е изд., перераб. и доп. Патон Б.Е. (ред.)*. Киев, Индпром.
2. Гринь Е.А. (2009) *Повреждаемость барабанов котлов из стали 16ГНМ. Монография*. Москва, Технический комитет по надежной и безопасной работе ТЭС.
3. Абабков Н.В. (2011) Совершенствование технологии оценки ресурса сварных барабанов котлов с применением акустических и магнитных методов: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.02.10. Барнаул.
4. Недосека А.Я., Недосека С.А., Яременко М.А., Овсиенко М.А. (2019) Современные технологии диагностирования оборудования в теплоэнергетическом комплексе. *Техническая диагностика и неразрушающий контроль*, 4, 40–44.
5. Недосека А.Я. и др. (2016) Испытание сосудов давления международной группой специалистов. *Там же*, 3, 3–10.
6. Недосека А. Я. и др. (2013) Программное обеспечение систем АЕ диагностики ЕМА-3.9. *Там же*, 3, 16–22.
7. Недосека А.Я., Недосека С.А. (2005) Диагностические системы семейств «ЕМА». Основные принципы и особенности архитектуры (Обзор). *Там же*, 3, 20–26.
8. (2016) Инструкция пользователя. Программное обеспечение ЕМА-3.91. Киев, ТК-78 «ТДНК»/ИЭС им. Е.О. Патона НАН Украины.
9. (2004) МПУ 002/10-22-2004. Метрология. АЭ диагностический комплекс ЕМА (электронная часть). Методика поверки. Киев, Укрметрестандарт.
10. ДСТУ EN 13477-1:2016 (EN 13477-1:2001, IDT) Неруйнівний контроль. Акустична емісія. 7. Характеристика устаткування. Частина 1. Технічні характеристики устаткування.
11. ДСТУ EN 13477-2:2016 Неруйнівний контроль. Акустична емісія. Характеристика устаткування. Частина 2. Експлуатаційні показники (EN 13477-2:2010, IDT).

12. (2012) СОУ 50.10-2012 Настанови щодо проектування та впровадження систем акустико-емісійного контролю, діагностування та моніторингу об'єктів підвищеної небезпеки. Київ, ТК-78 «ТДНК».
13. Недосека А.Я. и др. (2019) Технология оценки достоверности регистрации акустико-эмиссионной информации при диагностировании конструкций и сооружений. *Техническая диагностика и неразрушающий контроль*, 1, 5–10.
14. Недосека А.Я., Недосека С.А., Яременко М.А., Овсиенко М.А. (2019) Впровадження АЕ систем ЕМА четвертого покоління на об'єктах хімічного виробництва (за результатами виконання проекту Р2.6). Неруйнівний контроль та технічна діагностика: 9-а Національна науково-технічна конференція і виставка–2019, Київ, Україна, 19–21 листопада 2019 р.

### References

1. Nedoseka, A.Ya., Nedoseka, S.A. (2019) *Fundamentals of calculation and diagnostics of welded structures: Monography. Ed. by B.E. Paton*. 5th Ed. Kyiv, Indprom [in Russian].
2. Grin, E.A. (2009) *Damageability of boiler drums from 16GNM steel: Monography*. Moscow, Technical Committee on reliable and safe operation of thermal-power station [in Russian].
3. Ababkov, N.V. (2011) Improvement of the technology of evaluation of residual life of welded boiler drums with application of acoustic and magnetic methods. In: *Syn. of Thesis for Cand. of Techn. Sci. Degree*. 05.02.10. Barnaul [in Russian].
4. Nedoseka, A.Ya., Nedoseka, S.A., Yaremenko, M.A., Ovsienko, M.A. (2019) Modern technologies for equipment diagnosis in thermal power complex. *Tekh. Diagnost. i Nerazrush. Kontrol*, 4, 40–44 [in Russian].
5. Nedoseka, A.Ya. et al. (2016) Testing of pressure vessels by an international expert team. *Ibid.*, 3, 3–10 [in Russian].
6. Nedoseka, A.Ya. (2013) Software of AE diagnostic systems ЕМА-3.9. *Ibid.*, 3, 16–22 [in Russian].
7. Nedoseka, A.Ya., Nedoseka, S.A. (2005) Diagnostic systems of ЕМА family. Main principles and architectural features (Review). *Ibid.*, 3, 20-26 [in Russian].
8. (2016) *User Manual*. Software ЕМА-3.91. Kyiv, ТК-78 «ТДНК»/ PWI [in Russian].
9. (2004) МПУ 002/10-22-2004. *Metrology. AE diagnostic complex ЕМА (electronic part). Verification procedure*. Kyiv, Ukrmetrteststandart [in Ukrainian].
10. DSTU EN 13477-1: 2016 (EN 13477-1:2001, IDT) Non-destructive testing. *Acoustic emission. Equipment characterization*. Pt 1: Equipment description [in Ukrainian].
11. DSTU EN 13477-2:2016 (EN 13477-2:2010, IDT) Non-destructive testing. *Acoustic emission. Equipment characterization*. Pt 2: Verification of operating characteristics [in Ukrainian].
12. (2012) SOU 50.10-2012 *Guidelines for design and introduction of systems for acoustic emission control, diagnostics and monitoring of high-risk facilities*. Kyiv, ТК-78 «ТДНК» [in Ukrainian].
13. Nedoseka, A.Ya. et al. (2019) Technology of evaluation of the validity of recording acoustic emission information in diagnostics of structures and constructions. *Tekh. Diagnost. i Nerazrush. Kontrol*, 1, 5-10 [in Russian].
14. Nedoseka, A.Ya., Nedoseka, S.A., Yaremenko, M.A., Ovsienko, M.A. (2019) Introduction of AE systems of the fourth generation in chemical production facilities (by the results of fulfillment of Project P2.6). In: 9th National Sci.-Techn. Conf. and Exposition – 2019 (Kyiv, Ukraine, 19-21 November, 2019) [in Ukrainian].

## SYSTEMS OF ACOUSTIC EMISSION MONITORING AT TECHNICAL DIAGNOSTICS OF INDUSTRIAL FACILITIES

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

E.O. Paton Electric Welding Institute of NAS of Ukraine. 11 Kazymyr Malevych Str., 03150, Kyiv, Ukraine.

E-mail: office@paton.kiev.ua

The paper present generalized results of application of continuous acoustic-emission monitoring systems after upgrading the equipment and respective software in high-temperature components of power generating equipment, and potentially hazardous facilities of chemical industry that will promote their reliable accident-free operation. 14 Ref., 14 Fig.

*Keywords: AE technology, AE monitoring systems, boiler drum, ammonia storage of ST type*

Надійшла до редакції 04.08.2020