

ВПРОВАДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ АЕ МОНІТОРИНГУ НА ОПЗ

С.В. Журавльов¹, Б.М. Ободовський¹, М.А. Яременко², А.Я. Недосека², С.А. Недосека², М.А. Овсієнко²

¹АТ «Одеський припортовий завод». 65481, Одеська обл., м. Южне, вул. Заводська, 3. E-mail: office@opz.odessa.ua

²ІЕЗ ім. С.О. Патона НАН України. 03150, м. Київ, вул. Казимира Малевича, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

Наведено результати застосування методу АЕ на прикладі моніторингу та контролю сховищ аміаку в цеху перевантаження аміаку, окремих ліній та агрегатів у цеху виробництва аміаку, а також об'єктів станції розподілу повітря цеху водообробки. Показано, що результати АЕ моніторингу можуть бути використані при якісній оцінці стану теплоізоляційного покриття. Наведено схеми встановлення датчиків АЕ на об'єктах АЕ моніторингу та конфігурації локаційних антен. Вибірково наведено результати АЕ моніторингу об'єктів за поточний рік. Бібліогр. 8, табл. 6, рис. 11.

Ключові слова: акустична емісія, моніторинг, локаційні антени

АТ «Одеський припортовий завод» (ОПЗ) – державне підприємство хімічної галузі України – входить до переліку підприємств, що мають стратегічне значення для економіки та безпеки нашої країни. Основним призначенням підприємства є виробництво та перевантаження аміаку, карбаміду, двоокису вуглецю та рідкого кисню.

Продукція заводу має попит на внутрішньому ринку, але її основна частина експортується в більш ніж у 30 країн світу.

Важливим питанням є забезпечення ритмічної роботи підприємства, виконання в строки контрактів і договорів постачання продукції споживачу в умовах конкурентного ринку, забезпечення безпечної експлуатації високотехнологічного обладнання та оцінки стану матеріалу конструкцій із застосуванням сучасних систем моніторингу.

Системи інтегрального моніторингу технічного стану небезпечних виробничих об'єктів з застосуванням методу акустичної емісії (АЕ) активно використовуються для відслідковування структурної цілісності матеріалу різних технічних конструкцій та споруд у хімії, нафтопереробці, атомній та тепловій енергетиці, а також інших галузях народного господарства [1–3].

Мета їх застосування – забезпечення безпечної експлуатації обладнання, своєчасне реагування на зміни його поточного стану, своєчасні зупинки, оптимізація технічного обслуговування та ремонту обладнання за його фактичним станом.

Основне оперативне завдання АЕ моніторингу (постійного та/або періодичного) – виявлення зародження та розвитку на ранніх стадіях дефектів, що можуть привести металоконструкцію до руйнування або роботи в нештатному режимі.

Системи періодичного контролю та моніторингу, а також адаптовані під конкретні завдання методики та алгоритми автоматизованої якісної та кількісної оцінки та прийняття рішення щодо ста-

ну об'єктів контролю активно застосовуються в цехах виробництва аміаку та його перевантаження (зберігання) [4].

Застосування методу АЕ і його результати наведено на прикладі моніторингу та контролю сховищ аміаку ST-1...ST-4 у цеху перевантаження аміаку (ЦПА), окремих ліній та агрегатів у цеху виробництва аміаку (ЦВирА, відділення 1 і 2), а також об'єктів станції розділення повітря цеху водообробки (азотна колона, киснева колона, головний конденсатор).

Тривалий час проведення моніторингу сховищ рідкого аміаку, значна кількість накопиченої інформації дозволяють детально проаналізувати не тільки стан матеріалу сховища (сталі ASTM-A537.S1; A537.A), технологічні особливості його роботи, але й якісно порівняти, наприклад, стан теплоізоляційного покриття.

Після визначення кластерів АЕ сигналів, виконання додаткових термографічних досліджень і аналізу їх результатів встановлено відповідність координат кластерів АЕ і ділянок стінок сховищ з температурою, яка відрізняється від середніх значень, що взяті з усієї площі поверхні обичайки сховищ.

Наведемо кілька знімків результатів термографічного контролю для аміакосховища ST-4 (рис. 1–3) та їх стислий опис.

На рисунках чітко видно вертикальні сліди з більш низькою температурою від можливих патьоків. Такі ділянки є на різних рівнях і співпадають з місцями стиків листів ізоляції. Також видно переривчасті горизонтальні лінії зі зниженою температурою, що відповідають горизонтальним швам термоізоляції сховища. Ці дані співпадають з ділянками підвищеної АЕ активності.

Дані термографічних досліджень та результати АЕ моніторингу показують наявність проблем з температурним станом та ізоляцією корпусу аміакосховища ST-4. Аналогічні результати отримані

Недосека А.Я. – <https://orcid.org/0000-0001-9036-1413>, Недосека С.А. – <https://orcid.org/0000-0002-3239-381X>, Овсієнко М.А. – <https://orcid.org/0000-0002-2202-827X>, Яременко М.А. – <https://orcid.org/0000-0001-9973-4482>

© С.В. Журавльов, Б.М. Ободовський, М.А. Яременко, А.Я. Недосека, С.А. Недосека, М.А. Овсієнко, 2021

і для аміакосховища ST-2. Дані надані фахівцями лабораторії неруйнівного контролю та технічної діагностики ОПЗ.

Таким чином, детально проаналізувавши та зіставивши результати АЕ моніторингу і теплоконтролю, можна говорити про те, що АЕ моніторинг може слугувати додатковим фактором при якісній оцінці стану теплоізоляційного покриття.

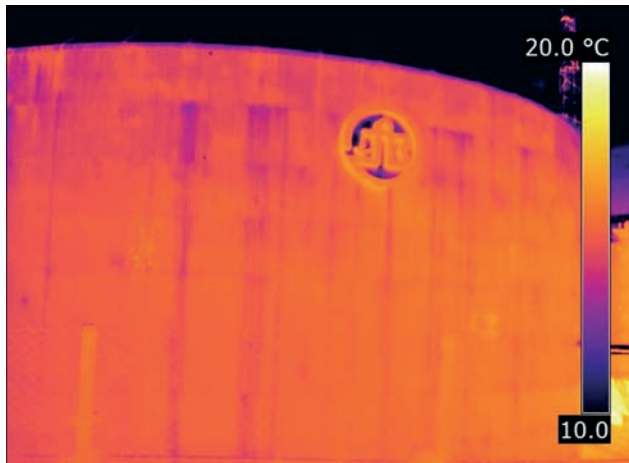


Рис. 1. Термографічний знімок (напрямок на центр сховища з боку вертикалей датчиків 1, 16)

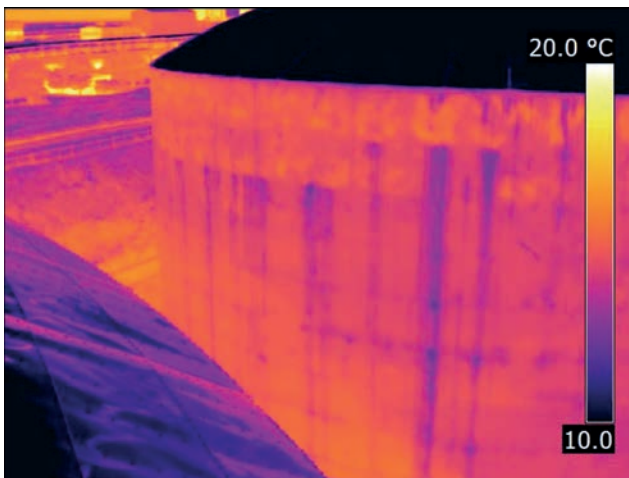


Рис. 2. Термографічний знімок (напрямок на центр сховища з боку вертикалі датчика 4)

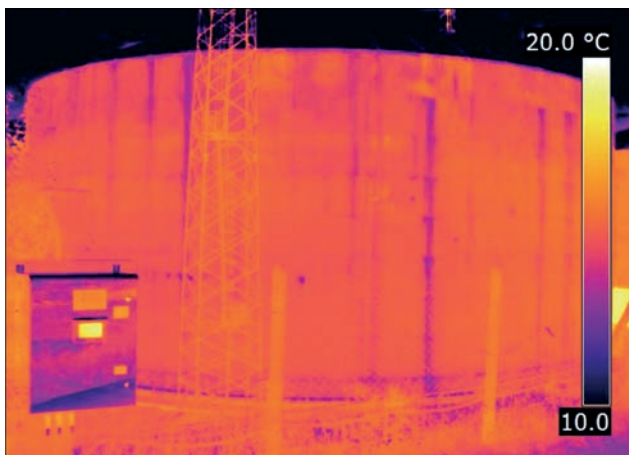


Рис. 3. Термографічний знімок (напрямок на центр сховища з боку вертикалі датчика 15)

Руйнування теплоізоляції може спричинити появу або сприяти прискоренню корозійних процесів на зовнішній поверхні резервуару (рис. 4), локальному зменшенню залишкової товщини стінки, збільшенню АЕ активності в матеріалі конструкції.

Відзначимо важливість збігання результатів термографічного та АЕ контролю, оскільки це є новим і достатньо цікавим науковим фактом. Це, зокрема, доводить, що довготривале використання методу АЕ у різних технологічних умовах дозволяє отримувати принципово нові наукові результати. З'являється можливість вдосконалення існуючих технологій АЕ контролю та прийняття рішення щодо стану об'єктів моніторингу [6].

Результати АЕ моніторингу враховуються при технічному діагностуванні сховищ і описувались раніше [5–7].

З 2008 р. системи АЕ моніторингу встановлені на посудинах і трубопроводах цеху виробництва аміаку (ЦВирА, відділення №№ 1, 2). Розглянемо результати роботи систем АЕ моніторингу у відділенні № 1 (системи ам11 і ам12).

Нижче наведені дані з найменуванням об'єктів моніторингу, їх стисла характеристика з зазначенням номерів датчиків АЕ, місць їх встановлення, відстані між ними. Показано зовнішній вигляд хвилеводу та установочної коробки з датчиком АЕ на об'єктах.

Загальна схема розміщення обладнання АЕ моніторингу ЦВирА та місця встановлення прийомних перетворювачів (датчиків) показана на рис. 5. Приклад більш детального окремого об'єкту показаний на рис. 6.

Системи АЕ моніторингу ам11 і ам12 контролюють наступні об'єкти ЦВирА (табл. 1).

Система ам11: колектор 107-D, реактор вторинного риформінгу 103-D, лінії PG-5-24", PG-7-24", PG-9-24", PG-10-24".

Система ам12: лінія PG от 104 DA-DB до 105 СА/СВ, ділянка трубопроводу – вихід з колони

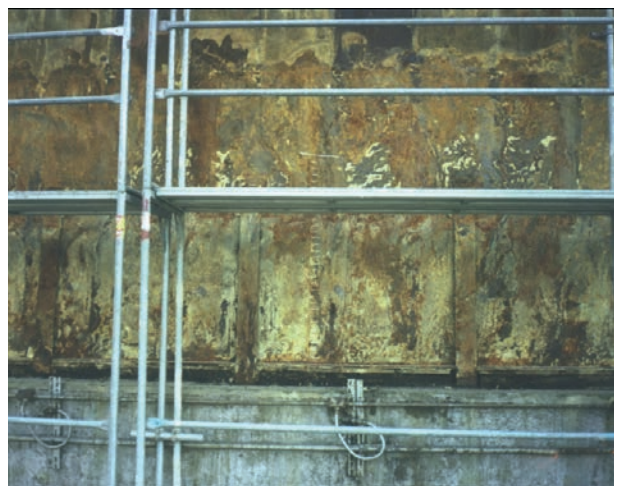


Рис. 4. Стан поверхні аміакосховища

Таблиця 1. Стисла характеристика деяких об'єктів моніторингу

Об'єкт	Робочий тиск, кгс/см ²	Робоча температура, °C	Матеріал
Реактор вторинного риформінгу 103-D	33	350	SA516 Gr
Лінії PG-7-24", PG-9-24", PG-10-24"	28,4...29,4	127...275	A106B, A358-304C
Лінія PG-5-24"	30,0	482	A-155 CM70
Лінія SG-70-16"	30,4	57...328	A106GrB
Ділянка трубопроводу пари високого тиску – лінія HS-3-20"	101	485	A335-P11

синтезу 105-D до 123-C (лінія SG-70-16"); ділянка трубопроводу пари високого тиску (лінія HS-3-20" від опори ОС-10 до опори ОС-16).

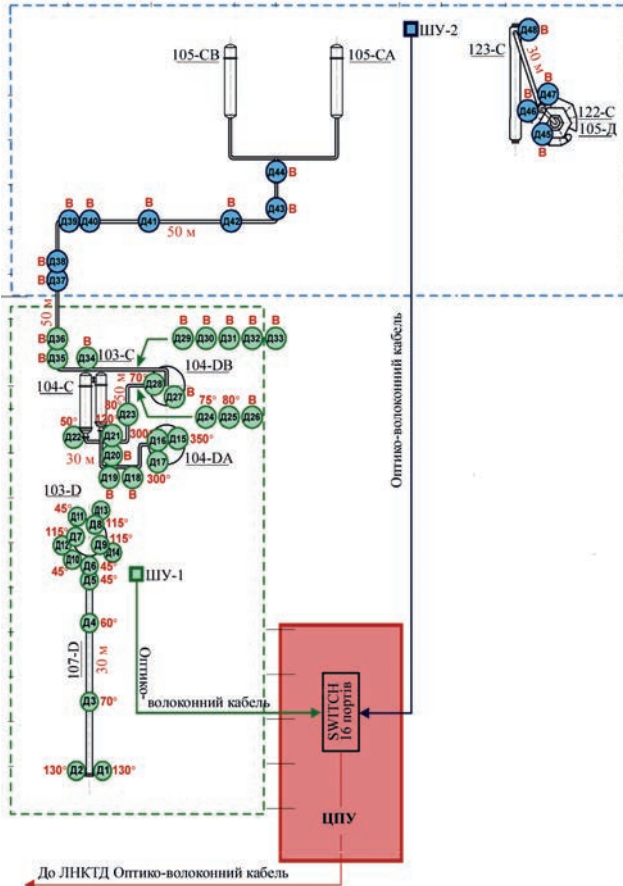


Рис. 5. Загальна схема розміщення датчиків АЕ на обладнанні ЦВирА (відділення № 1)

Вигляд робочих екранів систем АЕ моніторингу обладнання ЦВирА показано на рис. 7.

Для забезпечення роботи датчиків при температурах поверхонь більше 70 °C використовуються спеціальні хвилеводи (рис. 8). Їх геометричні розміри розраховуються для конкретних виробів і матеріалів з урахуванням температурного режиму роботи виробу, а також частотного діапазону, в якому можуть розповсюджуватися сигнали АЕ [7].

Завдання хвилеводів – забезпечити мінімальне загасання і спотворення форми сигналів, надійну та довготривалу роботу датчиків в необхідному діапазоні температур.

Значення температур поверхні виробів у місцях встановлення датчиків АЕ вибірково показані на рис. 9.

Таблиця 2. Система аМ11

Номер антени	Тип антени	Кількість датчиків	Номер датчиків
1	Вільний-лінія	6	1, 2, 3, 4, 5, 6
2	Лінія	2	7, 12
3	Лінія	2	8, 13
4	Лінія	2	9, 14
5	Вільний-лінія	7	15, 16, 17, 18, 19, 20, 21
6	Вільний-лінія	3	28, 29, 30
7	Вільний-лінія	7	22, 23, 31, 24, 25, 26, 27
8	Вільний-лінія	5	32, 33, 34, 35, 36
9	Вільний-лінія	2	10, 11
10	Вільний-лінія	12	37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48



Рис. 6. Первинний риформінг (колектор 107-D та підйомні труби)



Рис. 8. Датчики АЕ, встановлені на об'єктах АЕ моніторингу ЦВирА

Наведемо деякі дані щодо локаційних антен систем безперервного АЕ моніторингу ЦВирА (табл. 2, 3).

Використовується логарифмічний режим підсилення та плаваючий тип порогу амплітудної дискримінації. Значення цих параметрів визначаються в процесі роботи в автоматичному режимі.

Результати АЕ моніторингу об'єктів ЦВирА (відділення 1) за поточний рік показали наявність місць підвищеної акустичної активності, для яких системи АЕ моніторингу видавали попередження про небезпеку (радіус кластера – 1,5 м). Отримані дані наведені нижче (табл. 4, 5).

Виявлені місця рекомендовані для проведення додаткового контролю під час виконання планових ремонтних робіт.

Таблиця 3. Система ам12

Номер антени	Тип антени	Кількість датчиків	Номери датчиків
1	Вільний-лінія	8	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8
2	Лінія3	2	9, 10
3	Лінія3	2	11, 12
4	Вільний-лінія	4	13, 14, 15, 16

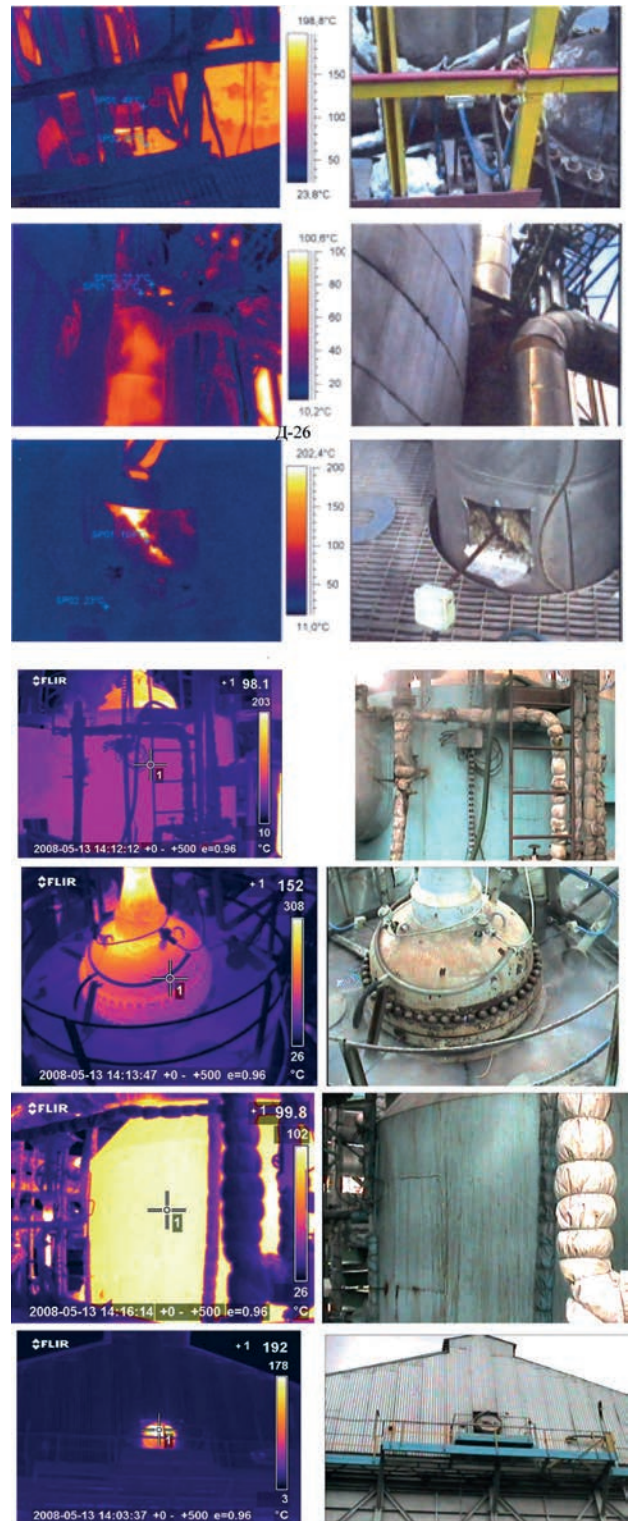


Рис. 9. Температура в місцях встановлення датчиків АЕ

Крім об'єктів, що контролюються системами безперервного АЕ моніторингу, значний інтерес для застосування АЕ контролю та моніторингу

Таблиця 4. Результати АЕ моніторингу. Система ам11

Номер антени	Місця, для яких система АЕ моніторингу видавала попередження про небезпеку	Сумарна кількість подій у кластері	Координати центрів кластерів, мм
1 (колектор 107-D)	1	13	529
	2	13	6214
	3	12	11885
	4	57	17936
	5	45	25602
	6	623	29217
2 (реактор 103-D)	ділянка від 8798 до 9916 мм		
5 (лінія PG-5-24")	1	17	2026
	2	56	23775
	3	8060	24885
6 (лінія PG-9-24")	1	42	3063
	2	20	6332
	3	11	7950
	4	30	10542
	5	43	12367
	6	42	3063
7 (вторинний риформінг, конверсія, метанування)	1	134	1834
	2	103	12239
	3	625	21583
	4	2789	37140
8 (вторинний риформінг, конверсія, метанування)	1	133	4161
	2	10	5742
	3	81	7723
	4	49	9800
	5	20	13036
	6	10	15161
	7	58	16590
	8	736	23710
10 (підйомні труби печі)	1	39	3327
	2	150	4172
	3	64	5350
	4	53	7002
	5	19	8148

Таблиця 5. Результати АЕ моніторингу. Система ам12

№ антени	Місця, для яких система АЕ моніторингу видавала попередження про небезпеку	Сумарна кількість подій у кластері	Координати центрів кластерів, мм
3 (вихід із колони синтезу)	1	11	11250
	2	7	22363
	3	10	31200

Таблиця 6. Характеристика об'єктів АЕ контролю

Найменування посудини, апарата	$P_{\text{розрах.}}$ кгс/см ²	$P_{\text{роб.}}$ кгс/см ²	$T_{\text{роб.}}$ °С	V , л	Матеріал	Рік вигот., установки
Киснева колона	10,2	1,7	-172	3200	ASTM D240 TP 304	1997 1999
Азотна колона	10,2	6,7	-172	10035	ASTM D240 TP 304	1997 1999
Головний конденсатор	10,2	3,8	-172	3996	ASTM D240 TP 304	1997 1999

являють собою об'єкти з обмеженим доступом до поверхні, коли датчики АЕ можливо встановлювати переважно на виходах трубопроводів [8]. Проведено АЕ контроль трьох таких посудин під тиском станції розподілу повітря цеху водообробки.

Технічні характеристики цих об'єктів АЕ контролю (рис. 10) наведені у табл. 6.

Після проведення тестових прозвучувань для проведення АЕ контролю встановлено 26 датчиків АЕ (рис. 11).

Датчики АЕ використовувались як у режимі зонної локації, так і з використанням циліндричної ан-



Рис. 10. Посудини тиску станції розподілу повітря



Рис. 11. Підготовка місць для встановлення датчиків АЕ (вибірково)

тени. При проведенні АЕ контролю зареєстровані сигнали АЕ по окремих каналах. Дана інформація буде збережена для порівняння при проведенні наступного АЕ контролю для аналізу можливого розвитку зон підвищеної АЕ активності.

Висновки

1. Метод АЕ забезпечує контроль важкодоступних місць, якісну та кількісну оцінку поточного стану матеріалу кострукцій, дозволяє заздалегідь передбачити ділянки потенційного розвитку руйнування та прогнозувати руйнівне навантаження у реальному часі під час разових випробувань та/або постійного моніторингу.

2. Постійний АЕ моніторинг дозволяє не лише оперативно отримувати інформацію щодо стану контрольованих об'єктів, але й опрацьовувати її, накопичувати відповідну статистику та на базі аналізу довгострокових даних встановлювати оптимальні режими їх подальшої безпечної експлуатації.

3. Скорочуються терміни з визначення ділянок додаткового, в разі необхідності, контролю, зменшується обсяг додаткових робіт з підготовки та проведення НК. Відповідальні особи можуть планувати заходи з забезпечення подальшої експлуатації об'єктів згідно технологічних умов їх експлуатації з урахуванням їх фактичного стану.

4. Постійне відслідковування та накопичення АЕ інформації з об'єктів моніторингу дозволить поступово перейти до зупинки та ремонтів обладнання за його фактичним станом, збільшивши, таким чином, інтервали між зупинками експлуатації обладнання, що у підсумку підвищить ефективність виробництва.

5. Проведення моніторингу дозволяє більш ретельно та обґрунтовано планувати подальші роботи під час планових та вимушених зупинок, оптимізувати роботу відповідних служб заводу та окремих лабораторій.

6. АЕ моніторинг обладнання цехів різного призначення заводу дає змогу отримувати оперативну інформацію про їх загальний стан та взаємопов'язану комплексну роботу підрозділів підприємства у цілому. Це, у свою чергу, може надати допомогу у стратегічному плануванні експлуатації обладнання заводу.

7. Довготривале застосування методу АЕ на АТ ОПЗ є джерелом отримання принципово нового, унікального наукового досвіду, аналіз якого дозволяє, у свою чергу, постійно вдосконалювати технологію моніторингу та оцінки стану матеріалу. Слід вважати доцільним подальший розвиток методу АЕ на заводі, у тому числі збільшення кількості об'єктів контролю, вдосконалення моніторингового обладнання, алгоритмів та методик контролю.

Список літератури

1. Патон Б.Е., Лобанов Л.М., Недосека А.Я. и др. (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.
2. Недосека А.Я., Недосека С.А., Яременко М.А., Овсиенко М.А. (2018) Применение технологии акустико-эмиссионного контроля при оценке состояния сосудов химического производства. *Там само*, **1**, 34–41.
3. Paton, B.E., Lobanov, L.M., Nedoseka, A.Ya., S.A. Nedoseka, A.Ya. (2018) On the application of AE technology in continuous monitoring of pipelines of power units operating at high temperatures. *International Journal of Condition Monitoring*, **Vol. 8**, 100–105.
4. Недосека С.А., Недосека А.Я., Яременко М.А., Овсиенко М.А. (2020) Системи акустико-емісійного моніторин-

гу при технічному діагностуванні промислових об'єктів. *Технічна діагностика та неруйнівний контроль*, **3**, 37–42.

5. Недосека С.А., Недосека А.Я., Яременко М.А. и др. (2021). Интегрирование метода АЕ в технологию ремонта и продолжения ресурсу металлоконструкций. *Там само*, **1**, 11–16.
6. Недосека С.А., Недосека А.Я., Яременко М.А., Овсиенко М.А. (2020). *Адаптація систем АЕ моніторингу до вимог промисловості*. Надійність і довговічність матеріалів, конструкцій, обладнання та споруд. Збірник наукових статей за результатами, отриманими в 2016–2020 рр. Київ, Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона.
7. Недосека А.Я., Недосека С.А. (2020). *Основы расчета и диагностики сварных конструкций*: монография. 5-е изд., перераб. и доп. Патон Б.Е. (ред.). Киев, Индпром.
8. Недосека С.А., Яременко М.А., Овсиенко М.А. та ін. (2020). Оцінка стану і прогнозування руйнівного навантаження при акустико-емісійних випробуваннях посудин під тиском з обмеженим доступом до контрольованої поверхні. *Технічна діагностика та неруйнівний контроль*, **1**, 8–16.

References

1. Paton, B.E., Lobanov, L.M., Nedoseka, A.Ya. et al. (2016) Smart technologies for evaluation of structure state (AE technologies and new generation control equipment on its basis). *Tekh. Diagnost. i Nerazrush. Kontrol*, **2**, 3–18 [in Russian].
2. 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. *Ibid.*, **1**, 34–41 [in Ukrainian].
3. Paton, B.E., Lobanov, L.M., Nedoseka, A.Ya., Nedoseka, S.A. (2018) On the application of AE technology in continuous monitoring of pipelines of power units operating at high temperatures. *Int. J. of Condition Monitoring*, **Vol. 8**, 100–105.
4. Nedoseka, A.Ya., Nedoseka, S.A., Yaremenko, M.A., Ovsienko, M.A. (2020) Systems of acoustic emission monitoring at technical diagnostics of industrial facilities. *Tekh. Diahnost. ta Neruiniv. Kontrol*, **3**, 37–42 [in Ukrainian].
5. Nedoseka, A.Ya., Nedoseka, S.A., Yaremenko, M.A. et al. (2021) Integration of AE method into the technology of repair and extension of life of metal structures. *Ibid.*, **1**, 11–16 [in Ukrainian].
6. Nedoseka, A.Ya., Nedoseka, S.A., Yaremenko, M.A., Ovsienko, M.A. (2020) *Adaptation of AE monitoring systems to industry requirements*. Reliability and service life of materials, structures, equipment and constructions: Transact. of papers based on 2016-2020 results. Kyiv, PWI [in Ukrainian].
7. Nedoseka, A.Ya., Nedoseka, S.A., Yaremenko, M.A. (2020) *Fundamentals of calculation and diagnostics of welded structures*: Monography. Ed. by B.E. Paton. 5 Ed. Kiev, Indprom [in Russian].
8. Nedoseka, A.Ya., Yaremenko, M.A., Ovsienko, M.A. et al. (2020) Evaluation of the state and prediction of breaking load at acoustic-emission testing of pressure vessels with limited access to controlled surface. *Tekh. Diahnost. ta Neruiniv. Kontrol*, **1**, 8–16 [in Ukrainian].

INTRODUCTION OF THE TECHNOLOGY OF AE MONITORING AT OPP

S.V. Zhuravlyov¹, B.M. Obodovskiy¹, M.A. Yaremenko², A.Ya. Nedoseka²,
S.A. Nedoseka², M.A. Ovsienko²

¹JSC «Odessa Port Plant». 3 Zavodskaya str., 65481, Yuzhne, Odessa reg., E-mail: office@opz.odessa.ua

²E.O. Paton Electric Welding Institute of NASU. 11 Kazymyr Malevych Str., 03150 Kyiv, Ukraine. E-mail: office@paton.kiev.ua

The paper gives the results of application of AE method in the case of monitoring and control of ammonia storage facilities in ammonia reloading shop, individual lines and apparatuses in ammonia production shop, and well as objects of air distribution station in water treatment shop. It is shown that the results of AE monitoring can be used at qualitative assessment of the state of thermal insulation coating. Schemes of AE transducer mounting on the object of AE monitoring and location array configurations are given. Selective results of AE monitoring of these facilities for the current year are given. 8 Ref., 8 Tabl., 15 Fig.

Keywords: acoustic emission, monitoring, location arrays

Надійшла до редакції 05.09.2021