

# ОЦІНКА СТАНУ І ПРОГНОЗУВАННЯ РУЙНІВНОГО НАВАНТАЖЕННЯ ПРИ АКУСТИКО-ЕМІСІЙНИХ ВИПРОБУВАННЯХ ПОСУДИН ПІД ТИСКОМ З ОБМЕЖЕНИМ ДОСТУПОМ ДО КОНТРОЛЬОВАНОЇ ПОВЕРХНІ

С.А. Недосєка<sup>1</sup>, М.А. Яременко<sup>1</sup>, М.А. Овсієнко<sup>1</sup>, А.Я. Недосєка<sup>1</sup>, С.В. Журавльов<sup>1</sup>,  
Б.М. Ободовський<sup>2</sup>, О.К. Савченко<sup>2</sup>, С.Г. Епов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України. 03150, м. Київ, вул. Казимира Малевича, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

<sup>2</sup>АТ «Одеський припортовий завод». 65481, Одеська обл., м. Южне, вул. Заводська, 3. E-mail: office@opz.odessa.ua

Розглянуто особливості проведення акустико-емісійного контролю на прикладі об'єкту станції розподілу повітря К-158 цеху водообробки ОПЗ при проведенні пневмовипробування. Даний об'єкт контролю складається з трьох поєднаних між собою посудин тиску, закритих зовні металевим корпусом, у зв'язку з чим доступ до кожної окремої посудини є обмеженим. Показано, як у такому випадку можливо провести акустико-емісійний контроль і отримати результати, придатні для прогнозування руйнівного навантаження. Відзначено, що застосування зонної локації при таких випробуваннях дозволяє без демонтажу зовнішнього корпусу вирішити проблеми оцінки стану недоступних для контролю поверхонь внутрішніх посудин. Розраховано на основі результатів двох етапів пневмовипробування руйнівне навантаження для кожного з об'єктів контролю. Показано, що їх поточний стан є задовільним і дозволяє подальшу експлуатацію. Рекомендовано враховувати отримані результати при складанні нормативних матеріалів щодо акустико-емісійного контролю. Бібліогр. 9, табл. 2, рис. 8.

*Ключеві слова:* акустико-емісійний контроль, руйнівне навантаження, прогнозування, зонна локація

Одним з найефективніших засобів забезпечення безпечної експлуатації промислових виробів та конструкцій є їх постійний акустико-емісійний (АЕ) моніторинг [1]. У випадках, коли постійний моніторинг забезпечити неможливо, використовують разовий або періодичний АЕ контроль. Як правило, він проводиться під час планових випробувань, коли об'єкти контролю навантажують внутрішнім тиском. У листопаді 2019 р. проведено АЕ контроль посудин тиску (3 шт.) станції розподілу повітря К-158 цеху водообробки відповідно до вимог, викладених у нормативних документах [2–6].

Технічні характеристики об'єктів АЕ контролю (рис. 1) наведені у табл. 1. Основними особливостями контролю вказаних об'єктів є те, що доступ до основного корпусу посудин суттєво обмежений за рахунок зовнішньої оболонки, тому датчики АЕ можливо встановлювати переважно на виходах трубопроводів.

Враховуючи особливість проведення випробувань та поставлене завдання прогнозування руйнівного навантаження, для проведення АЕ контролю використовували одну 16-ти каналну та дві 4-х каналні системи ЕМА-4 останніх мо-

дифікацій, які були об'єднані в єдиний вимірвальний комплекс, що забезпечило можливість оптимально сформувати локаційні антени та використати зонний режим контролю. Характеристика систем наведена у табл. 2.

Для забезпечення прогнозування руйнівного навантаження при використанні множинних локаційних антен АЕ та зонного режиму контролю, що більш детально описано нижче, використовували оновлене програмне забезпечення ЕМА-3.92, яке має додаткові можливості щодо налаштування параметрів прогнозування порівняно з попередніми версіями 3.9 та 3.91, описаними у роботах [7, 8]. Зокрема, кожна локаційна антена тепер може мати індивідуальні налаштування таких параметрів прогнозування, як тип навантаження та відповідні об'єкту контролю набори коефіцієнтів. Перевірка таких можливостей раніше була виконана під час лабораторних випробувань.

Результати випробування показали, що всі зазначені нововведення дозволяють коректно вирішувати завдання прогнозування руйнівного навантаження за даними АЕ контролю при

**Таблиця 1.** Технічні характеристики об'єктів АЕ контролю

Найменування посудини	$P_{\text{розрах.}}$ , кгс/см <sup>2</sup>	$P_{\text{роб.}}$ , кгс/см <sup>2</sup>	$T_{\text{розрах.}}$ , °С	$T_{\text{роб.}}$ , °С	V, л
Киснева колона	10,2	1,7	-196	-172	3200
Азотна колона	10,2	6,7	-196	-172	10035
Головний конденсатор	10,2	3,8	-196	-172	3996



Рис. 1. Посудини тиску станції розподілу повітря

використанні вимірювального обладнання типу ЕМА, навіть для об'єктів такої складної конфігурації та важкодоступних.

Перед проведенням АЕ контролю вивчена технічна документація на об'єкти контролю та визначена методика його проведення. Визначено місця для розміщення датчиків АЕ на об'єктах контролю з урахуванням наявності доступу до металу та особливостей їх експлуатації, організовано передачу даних щодо навантаження об'єктів.

Місця встановлення датчиків АЕ на об'єктах вибірково показано на рис. 2.

Після проведення тестових прозвучувань для проведення АЕ контролю встановлено 24 датчики АЕ. Всі датчики АЕ підключені у режимі зонної локації, сформовано п'ять локаційних антен згідно з особливістю місць розташування датчиків: антена 1 – датчики 1–8; антена 2 – датчики 9–15; антена 3 – датчики 16, 17; антена 4 – датчики 18, 19; антена 5 – датчики 20–24.

Під час випробувань отримані дані необхідно було попередньо обробити для прогнозування руйнівного навантаження (у разі можливості). З огляду на особливості розміщення датчиків АЕ та відсутність акустичного зв'язку між ними, відповідно,

було неможливо й сформувати локаційні антени для визначення координат джерел АЕ. Тому було прийнято рішення застосувати метод зонної локації та перевірити можливість його використання при прогнозуванні руйнівного навантаження. Перевага зонної локації полягає в тому, що можливо, за необхідності, зіставити дані, отримані різними приладами в одному і тому ж випробуванні, з точки зору прогнозування руйнування. Крім того, не будуть втрачені дані, які відбраковуються програмою при формуванні подій АЕ при координатній локації з застосуванням АЕ антен.

Метод зонної локації заснований на тому, що події АЕ формуються як результат спрацьовування одного датчика, на відміну від координатної локації за допомогою антени з рознесених на деяку відстань датчиків, коли подією вважається близьке за часом спрацьовування кількох датчиків, що дозволяє визначити координати джерела АЕ. Зонна локація вказує на область об'єкта контролю, в якій знаходиться джерело сигналу АЕ. Вибір теоретично розрахованого значення стробу (мертвого часу) дозволяє чітко визначити, з області розташування якого датчика АЕ надходять сигнали.

Таблиця 2. Технічна характеристика приладів ЕМА-4/16 та ЕМА-4/4

Кількість незалежних каналів АЕ	16/4	
Безперервний потік АЕ імпульсів, що обробляється, за секунду	> 1000	
Частотний діапазон АЕ сигналу, що обробляється, кГц	30...1000	
Обробка АЕ сигналу	цифрова	
Частота оцифрування АЕ сигналу, МГц	16	
Розрядність АЦП, біт	10	
Програмований цифровий смуговий фільтр	у кожного каналу АЕ	
Діапазон нижніх частот цифрового фільтра, кГц	30...970	
Діапазон верхніх частот цифрового фільтра, кГц	60...1000	
Ширина смуги пропускання цифрового фільтра, кГц	не менше 30	
Роздільна здатність при визначенні граничних частот цифрового фільтра, кГц	1	
Вимірювані первинні параметри АЕ		
Параметр АЕ	Одиниця виміру	Максимальне значення
Час надходження (Elapse Time)	125 нс	7 років
Час наростання (Rise Time)	125 нс	100 мс
Тривалість (Duration)	125 нс	8 мс
Число подій АЕ (Counts)	1	65 535
Пікова амплітуда (Peak), лінійний або логарифмічний режим	0,5 дБ	101 дБмкВ
Середнє значення (Average), лінійний або логарифмічний режим	0,5 дБ	101 дБмкВ
Збереження повної форми імпульсу АЕ	одночасно по всіх каналах АЕ	
Довжина реєстраторів форми імпульсу АЕ	8 мс по кожному каналу АЕ	
Тип внутрішнього підсилювального модуля для кожного каналу АЕ	LLA 104	
Кількість низькочастотних (НЧ) вимірювальних каналів	8/4	
Кількість зовнішніх параметрів навантаження	5/1	
Зовнішній параметр навантаження	0...20 мА (струмова петля) або 0...10 В	
Розрядність АЦП	12 біт	
Вимірювання напруги живлення	0...20 В	
Вимірювання температури всередині корпусу приладу	-20...100 °С	
Вимірювання відносної вологості всередині корпусу приладу	0...100 %	
Кількість цифрових входів / виходів ТТЛ	8/4	
Тип роз'єму зовнішнього параметра навантаження і цифрових входів-виходів	HD D-sub	
Інтерфейс зв'язку з комп'ютером	USB або Ethernet (опційно)	
Живлення через мережевий адаптер	12 В/1000 мА	
Опційне живлення за стандартом PoE	10...57 В/12 Вт	

Досвід використання зонної локації під час контролю технічного стану хімічного реактора типу 103-D, що працює у виробництві аміаку, показав, що прогнозування руйнування за даними зонної локації принципово можливе, а результати його є коректними [9]. Там же відзначено, що дана технологія, як і будь-яка технологія, заснована на певних наукових дослідженнях та розробках із застосуванням спеціальних контролюючих приладів і алгоритмів, працює з певною, наперед заданою, вірогідністю, що дозволяє чітко розуміти, в яких межах достовірності слід очікувати коректних висновків щодо технічного стану контрольованих об'єктів, а досвід фахівців ІЕЗ ім. Є.О. Патона в застосуванні методу АЕ для визначення техніч-

ного стану об'єктів, що працюють в різних умовах, показав, що методичні труднощі, пов'язані з установкою датчиків АЕ, проведенням вимірів і оцінкою їх результатів, можуть бути ефективно подолані.

Перед проведенням випробувань підготовлено обладнання для АЕ контролю, встановлено датчики АЕ у місцях доступу до металу об'єктів, проведено підключення датчиків до приладів, налаштовано вихідні дані системи ЕМА, зокрема, задано автоматичний режим визначення порогу амплітудної фільтрації та налагоджено передачу значення тиску до системи, що визначило повну готовність до проведення контролю. Оскільки оброблена інформація подана на копіях

екранів програми ЕМА-3.92 з результатами локації та прогнозу руйнування, наведемо короткий опис даних, які будуть відображені, та засоби їх відображення. У системах типу ЕМА спрацювання датчиків проходять багатоступеневу обробку, потрібну для прогнозування руйнівного навантаження. Кінцевим об'єктом, призначеним



Рис. 2. Визначення місць для встановлення датчиків АЕ (вибірково)

для прогнозування, є кластер подій АЕ. Перед цим отримані дані проходять складну фільтрацію, призначену для вибору з усієї кількості даних АЕ саме тих, які пов'язані з розвитком пошкодження та руйнування матеріалу.

У разі зонної локації кластер формується окремо для кожного датчика АЕ. На екрані програми ЕМА-3.92 він відображається як стовпчик з прапорцем, що знаходиться над зображенням датчика. На прапорці показано число подій АЕ, що потрапили у кластер (рис. 3).

Інформація, що отримується в процесі проведення АЕ контролю, відображається у вікні програми «Випробування», яке містить наступні основні екрани.

Екран «Індикатор і прогноз стану» («Object state parameters») – вікно розрахунку гранично допустимого прогнозного значення НЧ параметра при оцінці стану контрольованого об'єкта. В процесі проведення випробування або його повтору передбачена можливість прогнозування руйнівного навантаження («Destruction forecast») та генерація попереджень про небезпеку колірним індикатором.

Таблиця зі значеннями прогнозних даних – одночасно і колірний індикатор стану об'єкта. Поля таблиці показують номер антени та дані кластера («Cluster»), для якого виконано прогноз, а також мінімальне та максимальне значення допуску прогнозного параметра.

На екрані «Антенна» («Antenna») схематично відображаються одна або кілька локаційних антен. Події після необхідної фільтрації об'єднуються за заданими ознаками в кластер. У нижній частині вікна відображається стовпчиками величина шуму (неперервної емісії) по каналах АЕ, колір стовпчиків відповідає амплітуді сигналів, горизонтальними рисками – встановлені пороги амплітудної дискримінації сигналу для кожного задіяного каналу АЕ (рис. 3).

Екран «Графіки реального часу» («Real time info») – екран у правій частині вікна, що відображає у вигляді графіків зміни обраних

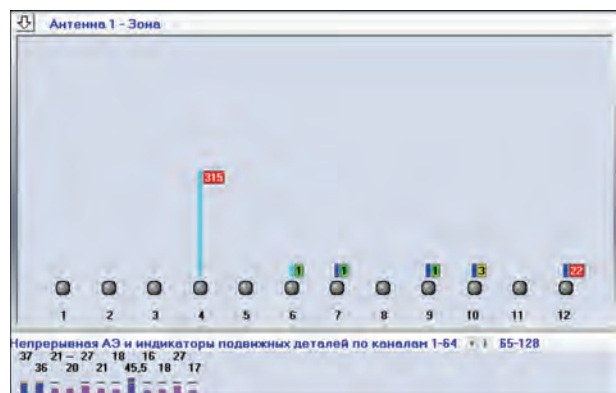


Рис. 3. Кластери АЕ подій при зонній локації

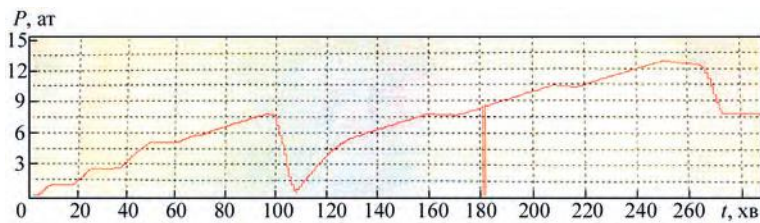


Рис. 4. Зміна тиску при проведенні випробування

користувачем АЕ параметрів у реальному часі при випробуваннях або в умовному часі при комп'ютерному повторі. На кожному графіку відображаються два параметри процесу.

Проведення АЕ контролю посудин тиску відбувалося наступним чином:

- загальна тривалість випробувань – 306 хв;
- тип навантаження – пневматичний;
- максимальний випробувальний тиск – 12,8 ат.

В процесі підйому тиску передбачалися витримки по 5...10 хв кожна з метою виявлення джерел АЕ, які не викликані технологічними шумами при роботі системи навантаження. Дані щодо тиску заведені у систему АЕ контролю шляхом підключення до манометричної системи після проведення відповідного градування. Графік зміни тиску наведено на рис. 4.

Випробування проведено у два етапи, які дали умовно позначені як перше та друге навантаження. Під час першого, в зв'язку з виникненням технічних питань, тиск був піднятий тільки приблизно до 8 ат, потім скинутий до нуля та випробування було повторене.

Перше навантаження записано частково – початок навантаження та кінцева частина до останньої витримки та скидання тиску включно – у двох окремих файлах. Друге – від початку та до кінця – у трьох окремих файлах.

Отриманих в процесі проведених вимірювань даних АЕ достатньо для оцінки стану об'єкта контролю, в тому числі для прогнозування руйнування для окремих ділянок.

**Обробка результатів випробувань.** Основними завданнями при обробці результатів випробування було встановити найбільш небезпечні ділянки об'єктів контролю та, за наявності попереджень про небезпеку першого рівня або вище, отримати прогноз руйнівного навантаження. Кластери, для яких отримане попередження про небезпеку, вказують при зонній локації місце, близьке до розташування відповідного датчика АЕ. Результати випробувань, як було вказано, були записані у п'яти файлах. Для кожного з них окремо встановлювали фільтри технологічних шумів згідно з аналізом кривої неперервної АЕ.

АЕ активність на різних стадіях навантажень суттєво відрізнялася, тому прогноз руйнівного навантаження отриманий лише на тих

з них, на яких зареєстровано достатню для прогнозування кількість подій АЕ. Зазначимо, що на можливість прогнозування впливає не стільки загальна кількість подій АЕ, скільки АЕ активність та загальний розподіл подій у часі. В даному випробуванні достатня для прогнозування руйнування інформація міститься лише у двох з п'яти записаних файлів. Це файли, які відповідають стадіям навантажень, коли вже був досягнутий рівень тиску близько 5 ат, і далі, згідно з програмою випробувань, відбувалося подальше навантаження з витримками.

У зв'язку з цим на рисунках надана лише інформація, що стосується вказаних двох стадій.

Кожна з інформативних стадій випробування представлена наступним чином: спочатку надається знімок вікна програми ЕМА-3.92 після завершення комп'ютерного повтору відповідного етапу випробування, потім для кожної з локаційних антен побудовані графіки, на яких показані в залежності від часу лінійними графіками поточне навантаження ( $P$ , ат) та рівень неперервної емісії, що має характер шуму ( $A_v$ , дБ); стовпчиками – максимальні амплітуди подій ( $A$ , дБ). Якщо у процесі відповідного випробування для певного кластера виявлені необхідні дані для видачі попередження про небезпеку та прогнозування руйнівного навантаження, вони відображаються на екрані програми кольором прапорця на небезпечному кластері та кольором індикатора небезпеки для антени АЕ, до якої відноситься кластер.

На стадії початкового підйому тиску під час першого навантаження небезпечних джерел АЕ зареєстровано не було. Відзначено лише різкі коливання шуму по всіх антенах. На витримках АЕ подій не спостерігалось. При подальшому підйомі тиску до 7 ат і вище (друга стадія), перед початком скидання тиску, зареєстровані події АЕ, що відповідають попередженню про небезпеку першого рівня «Звернути увагу» для всіх сформованих антен АЕ (рис. 5, 6). Відзначимо, що попередження про небезпеку формувалося згідно з ДСТУ 4227-2003 [2]. Можна виділити номери датчиків, для яких видані попередження першого рівня: 1, 10, 16, 17, 18, 21 (жовтий колір прапорців над номерами датчиків). Для інших датчиків попередження відсутні, що відповідає зеленому кольору прапорців.

Узагальнюючи дані прогнозування руйнівного навантаження по всіх антенах, отримаємо діапазон значень прогнозу руйнування у межах 27,9...32,3 ат.

Прогнозні значення для даних об'єктів контролю суттєво перевищують (згідно з їх технічними паспортами) як робочий тиск – 6,7 ат,

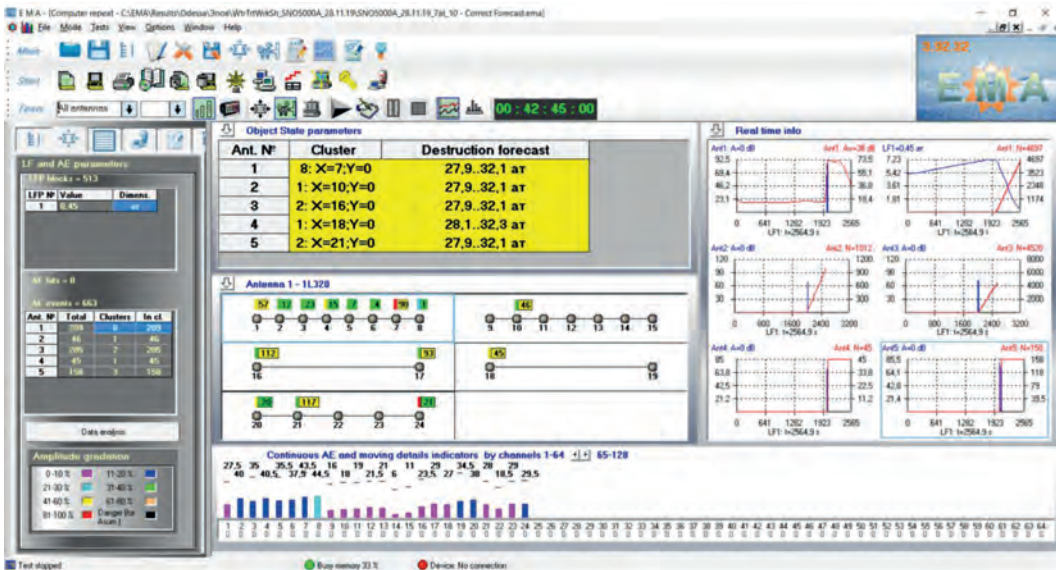


Рис. 5. Вікно програми ЕМА-3.92 на стадії подальшого підйому тиску при першому навантаженні. Спостерігається високий рівень шумів, на максимумі навантаження видані попередження про небезпеку першого рівня «Звернути увагу» для всіх антен. Чітко видно сім кластерів, для яких сформовані попередження (датчики 1, 10, 16, 17, 18, 21 – прапорці жовтого кольору). На індикаторах небезпеки – прогноз руйнівного навантаження для всіх АЕ антен

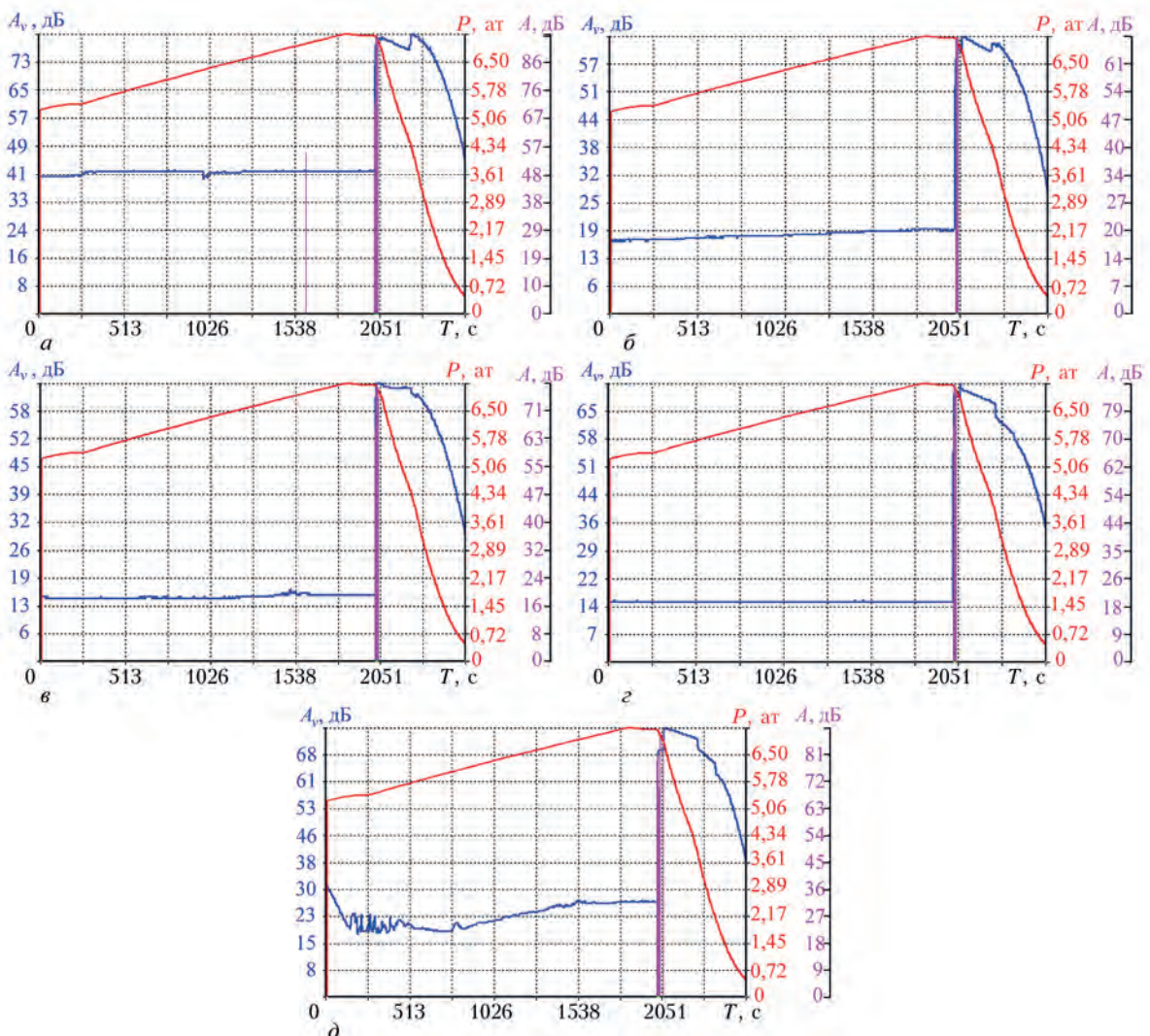


Рис. 6. Графік першого навантаження на стадії подальшого підйому та скидання тиску: а-д – дані для АЕ антен 1-5, відповідно; P, ат – поточне навантаження; A, дБ – рівень неперервної АЕ; A, дБ – максимальні амплітуди подій АЕ

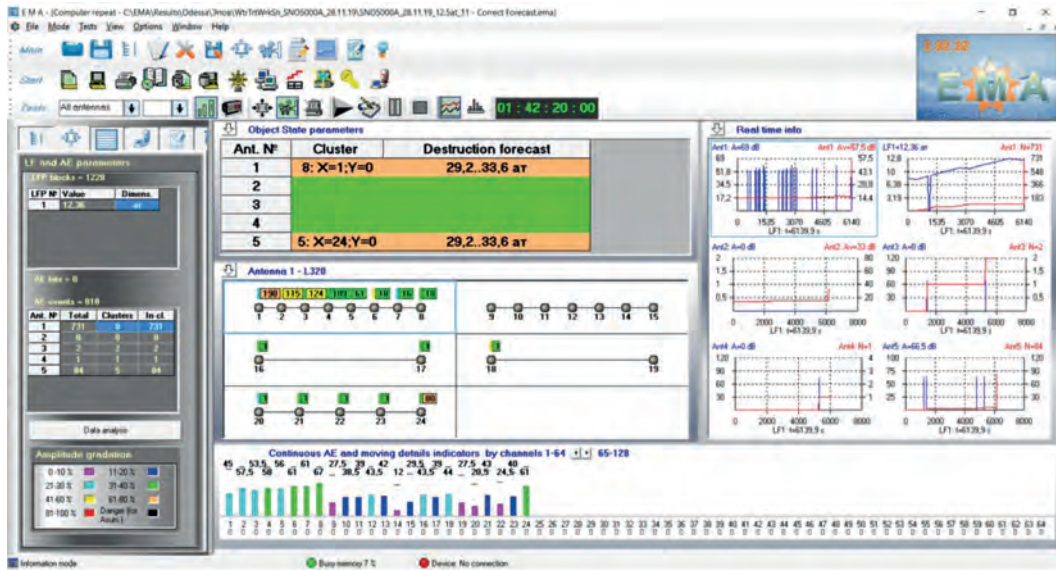


Рис. 7. Вікно програми ЕМА-3.92 після подальшого підйому тиску до максимуму при другому навантаженні. Спостерігається високий рівень шумів, на максимумі навантаження видане попередження про небезпеку другого рівня «Підсилити увагу» для антен 1, 5. Чітко видно чотири кластери, для яких сформовані попередження першого (прапорці жовтого кольору) та другого рівня (прапорці помаранчевого кольору). На індикаторах небезпеки – прогноз руйнівного навантаження для антен АЕ №№ 1, 5

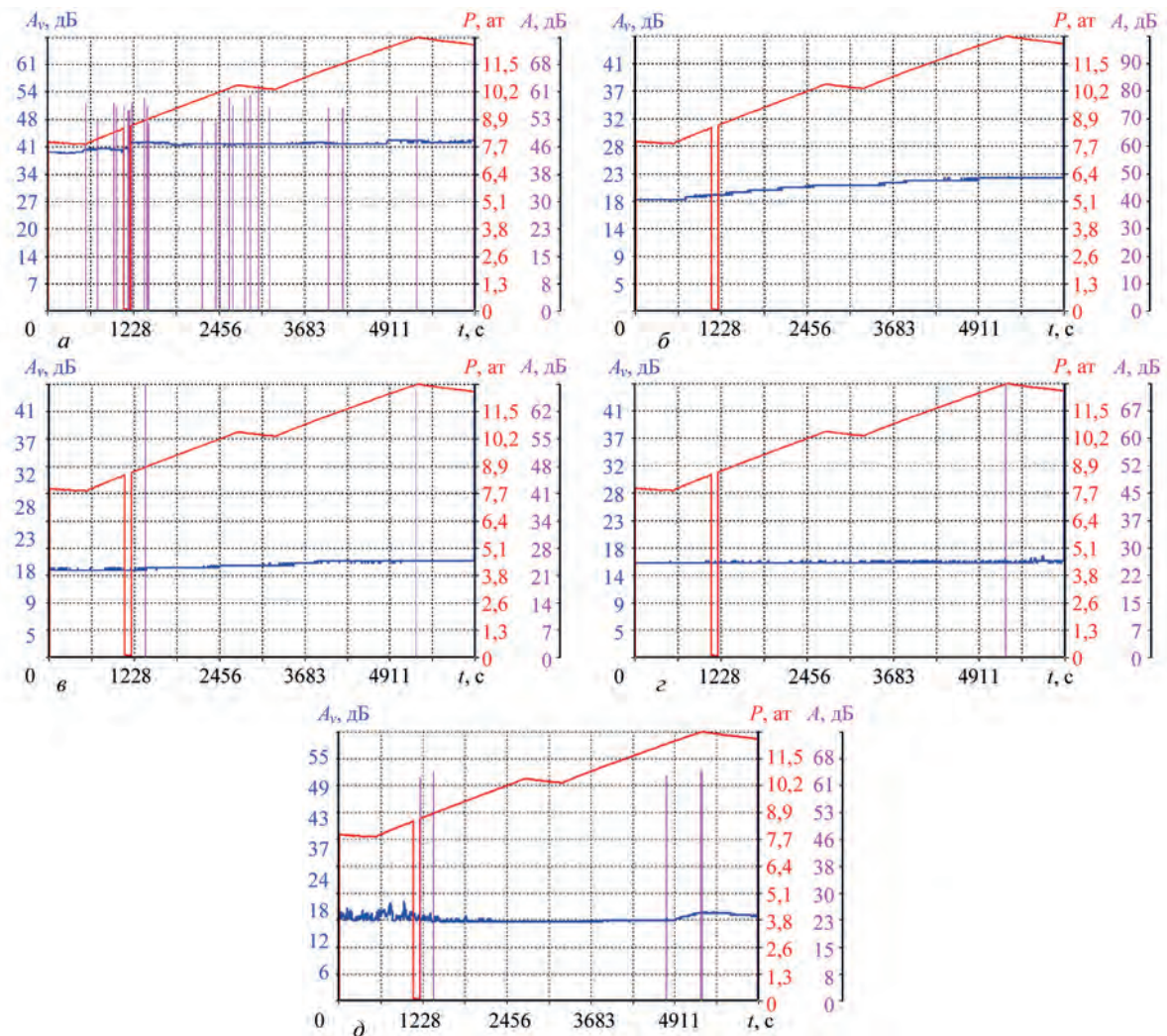


Рис. 8. Графік другого навантаження на стадії подальшого підйому тиску до максимуму: а-д – дані для АЕ антен 1, 2, 3, 4, 5, відповідно;  $P$ , ат – поточне навантаження;  $A_n$ , дБ – рівень неперервної АЕ;  $A$ , дБ – максимальні амплітуди подій АЕ

розрахунковий тиск – 10,2 ат, так і випробувальний тиск – 12,8 ат. За даними першого навантаження можна відзначити, що об'єкти контролю знаходяться у задовільному стані та можуть експлуатуватися далі за умови періодичного АЕ контролю та спостереження за виявленими ділянками підвищеної акустичної активності.

Окрім сказаного вище, слід відзначити суттєві коливання шуму для антени 5 протягом усього першого етапу випробування. В значній мірі це стосується датчика 20. Перше навантаження закінчилося скиданням тиску до мінімуму без досягнення максимального випробувального тиску. Після вирішення технічних питань почався другий етап, під час якого навантаження досягло значення 12,8 ат.

На другому етапі навантаження під час початкового підйому тиску (перша стадія) небезпечних джерел АЕ зареєстровано не було. Слід відзначити різкий підйом шуму на самому початку випробування по всіх антенах, із плавним зниженням його під час росту навантаження. Також зареєстроване короткочасне виникнення джерел АЕ на самому початку випробування, яке, скоріш за все, пов'язано з роботою систем навантаження. Далі АЕ події не спостерігалися.

Попереджень про небезпеку на першій стадії не генерувалося, відповідно, індикатори небезпеки мали зелений колір, а дані для прогнозу руйнування не формувалися.

При подальшому підйомі тиску до максимуму (рис. 7, 8) зареєстровані події АЕ, що відповідають попередженню про небезпеку другого рівня «Підсилити увагу» для двох антен АЕ №№ 1, 5. Можна визначити номери датчиків, для яких саме видані попередження: першого рівня – датчики 2, 3 (жовтий колір прапорців над номерами датчиків); другого – датчики 1, 24 (помаранчевий колір прапорців над номерами датчиків). Для інших датчиків попередження відсутні, чому відповідає зелений колір прапорців.

Узагальнюючи дані прогнозування руйнівного навантаження по всіх антенах, отримуємо діапазон значень прогнозу руйнування у межах 27,9...32,3 ат.

Прогнозні значення руйнівного тиску, як і на першому етапі навантаження, суттєво перевищують максимально допустимі для даних об'єктів контролю. За даними другого етапу випробувань, як і першого етапу, можна відзначити, що об'єкти контролю знаходяться у задовільному стані та можуть експлуатуватися далі за умови періодичного АЕ контролю та спостереження за небезпечними ділянками.

На етапі другого навантаження та під час скидання тиску небезпечних джерел АЕ зареєстрова-

но не було. Слід відзначити різкий підйом шуму на самому початку скидання по всіх антенах, з плавним зниженням його услід за падінням тиску. Також слід звернути увагу на короткочасне виникнення джерел АЕ на відносно пологій ділянці скидання, але вони є поодинокими та не призвели до генерації попереджень про небезпеку; відповідно, індикатори небезпеки мали зелений колір, дані щодо прогнозу руйнування не формувалися безпосередньо до завершення випробування.

Таким чином, при проведенні АЕ контролю під час пневмовипробування трьох посудин тиску станції розподілу повітря у режимі зонної локації зареєстровані сигнали АЕ. Отримана інформація збережена для порівняння при проведенні наступного АЕ контролю для аналізу можливого розвитку зон підвищеної акустичної активності.

На підставі аналізу даних, отриманих при проведенні АЕ контролю під час пневмовипробування кисневої колони, азотної колони та головного конденсатора станції розподілу повітря К-158 цеху водообробки, а також додаткової обробки даних АЕ контролю встановлено наступне:

1. Попередження першого рівня небезпеки «Звернути увагу» згенероване для зонних антен – датчиків з номерами: 1, 2, 3, 10, 16, 17, 18, 21.

2. Попередження другого рівня небезпеки «Підсилити увагу» згенероване для зонних антен – датчиків з номерами: 1, 24.

3. Незважаючи на відсутність для датчика 20 попереджень про небезпеку, у зоні його чутливості зареєстровано відхилення значень АЕ параметрів від таких для інших датчиків, тому рекомендовано звернути увагу також і на ділянку навколо його розташування.

4. Значення прогнозу руйнівного навантаження складають 27,9...32,3 ат на першому етапі випробування; 29,2...33,6 ат – на другому. Поля допуску отриманих прогнозних значень руйнівного навантаження не перевищують тих, що дозволяються технічною документацією на системи ЕМА ( $\pm 15\%$ ).

5. Прогнозні значення руйнівного навантаження суттєво перевищують як робочий тиск – 6,7 ат, розрахунковий тиск – 10,2 ат, так і випробувальний тиск – 12,8 ат для об'єктів АЕ контролю.

На вказаних потенційно небезпечних ділянках наявність та характер виявлених джерел АЕ не впливає на можливість подальшої експлуатації випробуваного обладнання. Подальша експлуатація проконтрольованих посудин тиску подовжена з вимогою обов'язкового проведення АЕ контролю та спостереження за виявленими ділянками підвищеної акустичної активності один раз на рік.



Таким чином, застосування при випробуваннях посудин тиску з обмеженим доступом до основного корпусу АЕ систем типу ЕМА дозволяє у режимі зонної локації виявити найбільш небезпечні ділянки об'єктів контролю та отримати прогноз руйнівного навантаження при проведенні пневмовипробування.

### Висновки

1. Показано, що при випробуваннях посудин тиску з обмеженим доступом до контрольованої поверхні можливо провести ефективний АЕ контроль і отримати результати, придатні для прогнозування руйнівного навантаження.

2. Відзначено, що застосування зонної локації при таких випробуваннях дозволяє без демонтажу зовнішнього корпусу вирішити проблеми оцінки стану недоступних для контролю поверхонь внутрішніх посудин і визначити найбільш небезпечні ділянки.

3. Розраховано на основі результатів двох етапів пневмовипробування руйнівне навантаження для кожного з об'єктів контролю. Показано, що їх поточний стан є задовільним і дозволяє подальшу експлуатацію.

4. Отримані результати можуть бути враховані при створенні нормативних матеріалів з АЕ контролю аналогічних об'єктів.

### Список літератури

1. Недосека А.Я., Недосека С.А., Яременко М.А. (2011) Непрерывный мониторинг магистральных газопроводов и газокomppressorных станций методом акустической эмиссии. *Техническая диагностика и неразрушающий контроль*, **4**, 3–13.
2. (2003) ДСТУ 4227-2003 *Настанови щодо проведення акустико-емісійного діагностування об'єктів підвищеної безпеки*. Держстандарт України.
3. (2003) ДСТУ 4223-2003 *«Котли, посудини під тиском і трубопроводи. Технічне діагностування. Загальні вимоги»*.
4. (2014) *Правила організації і проведення акустико-емісійного контролю посудин, апаратів, котлів і технологічних трубопроводів. Загальні вимоги*. ТК-78 «ТДНК», Київ.

5. (2006) СОУ 50.07–2006 *«Методичні рекомендації з акустико-емісійного діагностування обладнання основних виробництв хімічної, нафтохімічної та нафтогазопереробної промисловості. Загальні вимоги»*. ТК-78 «ТДНК», Київ.
6. (1995) Методика *«Акустико-емісійна діагностика працездатності трубопровідних систем і посудин нафтопереробних, нафтохімічних і хімічних виробництв, що працюють під тиском до 16 МПа»* (затверджена Держнаглядохоронпраці).
7. Недосека А.Я., Недосека С.А., Яременко М.А. и др. (2013) Програмное обеспечение систем АЭ диагностики ЕМА-3.9. *Техническая диагностика и неразрушающий контроль*, **3**, 16–22.
8. 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). *Там же*, **2**, 3–18.
9. 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 же*, **1**, 34–41.

### References

1. Nedoseka, A. Ya., Nedoseka, S. A., Yaremenko, M. A. (2011) Continuous monitoring of main gas pipelines and gas compressor stations by acoustic emission method. *Tekh. Diagnost. i Nerazrush. Kontrol*, **4**, 3–13 [in Russian].
2. (2003) DSTU 4227-2003 [in Ukrainian].
3. (2003) DSTU 4223-2003: *Boilers, pressure vessels and pipelines. Technical diagnostics. General requirements* [in Ukrainian].
4. (2014) *General requirements*. ТК-78 TDNK, Kyiv [in Ukrainian].
5. (2006) SOU 50.07-2006: *Procedural recommendations on acoustic emission diagnostics. General requirements*. ТК-78 TDNK, Kyiv [in Ukrainian].
6. (1995) Procedure «Acoustic emission diagnostics» (approved by State Health Protection) [in Ukrainian].
7. Nedoseka A. Ya., Nedoseka, S. A., Yaremenko, M. A. et al. (2013) Software of AE diagnostic systems ЕМА-3.9. *Tekh. Diagnost. i Nerazrush. Kontrol*, **3**, 16–22 [in Russian].
8. 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). *Ibid.*, **2**, 3–18 [in Russian].
9. 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 Russian].

## EVALUATION OF THE STATE AND PREDICTION OF BREAKING LOAD AT ACOUSTIC-EMISSION TESTING OF PRESSURE VESSELS WITH LIMITED ACCESS TO CONTROLLED SURFACE

S. A. Nedoseka<sup>1</sup>, M. A. Yaremenko<sup>1</sup>, M. A. Ovsienko<sup>1</sup>, A. Ya. Nedoseka<sup>1</sup>, S. V. Zhuravljov<sup>1</sup>, B. M. Obodovskii<sup>2</sup>, O. K. Savchenko<sup>2</sup>, S. G. Epov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>E. O. Paton Electric Welding Institute of the NAS of Ukraine. 11 Kazymyr Malevych Str., 03150, Kyiv, Ukraine. E-mail: office@paton.kiev.ua

<sup>2</sup>JSC «Odessa Port Plant», 3 Zavodskaya Str., 65481, Yuzhne, Odessa distr., Ukraine. E-Mail: office@opz.odessa.ua

Peculiarities of conducting acoustic-emission control are considered in the case of the object of air distribution station K-158 of water treatment shop of OPP during pneumatic testing. This object of control consists of three interconnected pressure vessels, enclosed into a metal case, so that access to each individual vessel is limited. It is shown that how it is possible to conduct acoustic-emission control in such a case, and obtain results, suitable for prediction of breaking load. It is noted that application of zone location at such testing allows solving the problem of evaluation of the state of inner vessel surfaces inaccessible for control without dismantling the outer case. Destructive loading for each of the objects of control was calculated, proceeding from the results of two stages of pneumatic testing. It is shown that their current state is satisfactory and allows their further operation. It is recommended to take into account the obtained results, when preparing the normative materials on acoustic-emission control. 9 Ref., 2 Tabl., 8 Fig.

*Keywords: acoustic-emission control, breaking load, prediction, zone location*

Надійшла до редакції 10.01.2020