

# ПРОВЕДЕННЯ АКУСТИКО-ЕМІСІЙНОГО КОНТРОЛЮ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ З ОБМЕЖЕНИМ ДОСТУПОМ

С.А. Недосека<sup>1</sup>, А.Я. Недосека<sup>1</sup>, М.А. Яременко<sup>1</sup>, М.А. Овсієнко<sup>1</sup>, Б.М. Ободовський<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: [inpat59@ukr.net](mailto:inpat59@ukr.net)

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

У статті наведено результати акустико-емісійного (АЕ) контролю при проведенні пневматичних випробувань посудин тиску станції розподілу повітря Одеського припортового заводу. Показано, що застосування методу АЕ контролю та відповідного обладнання дозволило оцінити технічний стан об'єктів контролю, а також урахувати особливості проведення контролю для вдосконалення методологічних підходів до отримання та обробки даних АЕ діагностування складних конструкцій. Бібліогр. 8, табл. 5, рис. 10.

*Ключові слова:* акустична емісія, зонна локація, кластеризація, амплітудна фільтрація

**Вступ.** Контроль і оцінка поточного стану об'єктів з обмеженим доступом є важливим та актуальним питанням. Аналіз світового досвіду використання методу АЕ вказує на те, що контроль конструкцій з обмеженим доступом до поверхні може бути здійсненим, але мова йде виключно про об'єкти, у яких акустичний зв'язок між декількома датчиками присутній [1, 2] і можуть бути сформовані локаційні антени, завдання яких – визначати координати виявлених джерел АЕ. Значно складнішою проблема оцінки стану конструкцій з обмеженим доступом стає, коли такий зв'язок відсутній. У даній статті показано, що з використанням методу зонної АЕ локації та за наявності у АЕ системи можливостей прогнозу руйнівного навантаження кількісну оцінку поточного стану конструкцій з обмеженим доступом може бути виконано. Роботи виконувались відповідно до вимог, викладених у нормативних документах: ДСТУ 4223-2003 «Котли, посудини під тиском і трубопроводи. Технічне діагностування. Загальні вимоги» [3], ДСТУ 4227-2003 «Настанови щодо проведення акустико-емісійного діагностування об'єктів підвищеної небезпеки» [4].

Застосування методу АЕ та відповідного обладнання дозволяє оперативно оцінити стан відповідальних промислових конструкцій [5]. Наявний досвід проведення таких робіт дозволить активно застосовувати цю технологію при відновленні роботи промислових підприємств [6].

**Таблиця 1.** Характеристики об'єктів АЕ

Найменування посудини, апарата	$P_{\text{розрах}}$ , МПа	$P_{\text{роб}}$ , МПа	$T_{\text{розрах}}$ , °С	$T_{\text{роб}}$ , °С	$V$ , м <sup>3</sup>
Киснева колона	1,02	1,7	-196	-172	3,2
Азотна колона	1,02	6,7	-196	-172	10,035
Головний конденсатор	1,02	3,8	-196	-172	3,996

**Об'єкти контролю.** Зовнішній вигляд посудин тиску, що контролювалися, показано на рис. 1. Обмежений доступ до внутрішньої частини апаратів дозволив встановити датчики АЕ лише на зовнішніх ділянках вхідних та вихідних труб. У таких умовах можна застосовувати для АЕ контролю лише зонний спосіб локації (детально описаний нижче). Характеристики об'єктів АЕ контролю наведено у табл. 1, де  $P_{\text{розрах}}$  – розрахунковий допустимий тиск, МПа;  $P_{\text{роб}}$  – робочий тиск, МПа;  $T_{\text{розрах}}$  – розрахункова допустима температура, °С;  $T_{\text{роб}}$  – робоча температура, °С;  $V$  – об'єм робочої частини апарату, м<sup>3</sup>.

**Вимірювальне АЕ обладнання.** Для проведення АЕ контролю використовували 16-ти каналну систему ЕМА-4 та дві 4-х каналні, всі об'єднані у єдиний вимірювальний комплекс (табл. 2).

На підставі технічної документації на об'єкти АЕ контролю та їх попереднього обстеження визначено методику проведення АЕ контролю, місця для розміщення датчиків АЕ на об'єктах контролю з урахуванням наявності доступу до основного металу та особливостей їх експлуатації, місця розміщення обладнання та організовано передачу даних щодо навантаження об'єктів. Місця встановлення датчиків АЕ на об'єктах (вибірково) показані на фото (рис. 2). Для проведення АЕ контролю встановлено 24 датчики АЕ.

**Методика випробувань.** Всі датчики АЕ підключені у режимі зонної локації, сформовано

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

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

© С.А. Недосека, А.Я. Недосека, М.А. Яременко, М.А. Овсієнко, Б.М. Ободовський, С.Г. Епов, 2023



Рис. 1. Посудини, що працюють під тиском, на станції розподілу повітря

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

Кількість незалежних каналів АЕ	16/4	
Безперервний потік АЕ імпульсів, що обробляється, /с	> 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	Од. виміру	Макс. 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	65535
Пікова амплітуда (Peak), логарифмічний режим, дБ	0,5	101
Середнє значення (Average), логарифмічний режим, дБ	0,5	101
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 вимірювальних каналів	8/4	
Кількість зовнішніх параметрів навантаження	5/1	
Зовнішній параметр навантаження	0...20 мА (струмова петля) або 0...10 В	
Розрядність АЦП, біт	12	
Вимірювання напруги живлення, В	0...20	
Вимірювання температури всередині корпусу приладу, °С	-20...100	
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	

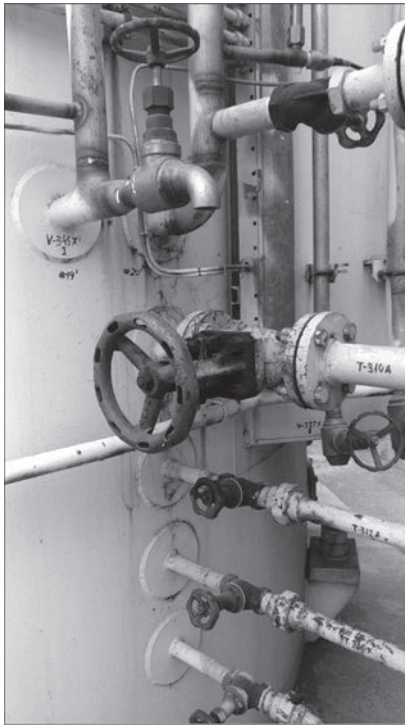


Рис. 2. Підготовка місць для встановлення датчиків АЕ (вибірково)

п'ять локаційних антен згідно з особливістю розташування місць встановлення датчиків [7]. Прийнято рішення застосувати метод зонної локації й при прогнозуванні руйнівного навантаження. Перевага зонної локації полягає в тому, що можливо, за необхідності, зіставити дані, отримані різними приладами в одному і тому ж експерименті, з точки зору прогнозу руйнування. Крім того, не будуть втрачені дані, які відбраковуються програмою при формуванні подій АЕ при координатній локації.

Метод зонної локації заснований на тому, що події АЕ формуються як результат спрацювання одного датчика, на відміну від координатної локації за допомогою антени з рознесених на деяку відстань датчиків, коли подією вважається близьке за часом спрацювання декількох датчиків, що дозволяє визначити координати джерела АЕ. Проте, зонна локація побічно вказує на область об'єкта контролю, в якій знаходиться джерело сигналу АЕ. При виставленні значення стробу (мертвого часу) досить великим можна чітко домогтися розуміння того, з області розташування якого датчика АЕ надходять сигнали. При проведенні контролю використовували автоматичний режим визначення порогу амплітудної фільтрації.

Оскільки оброблена інформація містить знімки 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 об-

робку, потрібну для прогнозу руйнівного навантаження. Кінцевим об'єктом, призначеним для прогнозування, є кластер. Перед цим дані проходять складну фільтрацію, призначену для вибору з усієї маси даних АЕ саме тих, які пов'язані з розвитком пошкодження та руйнування матеріалу.

У разі зонної локації кластер формується для кожного каналу АЕ, що спрацював, окремо. На екрані програми ЕМА-3.92 кластер відображається при зонній локації як стовпчик з прапорцем, що знаходиться над зображенням датчика. На прапорці відображається число подій АЕ, що потрапили в кластер.

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

Екран «Індикатор і прогноз стану» – вікно розрахунку гранично допустимого прогнозного значення низькочастотного (НЧ) параметра при оцінці стану контрольованого об'єкта. У процесі проведення випробування або його повтору передбачено можливість прогнозування руйнівного навантаження та генерацію попереджень про небезпеку колірним індикатором.

Таблиця зі значеннями прогнозних даних є одночасно й колірним індикатором стану об'єкта. Поля таблиці показують номер антени та дані кластера, для якого виконано прогноз, а також мінімальне та максимальне значення допуску прогнозного параметра.

На екрані «Антенa» схематично відображаються одна або кілька локаційних антен. Події після необхідної фільтрації об'єднуються за заданими ознаками в кластер. Нижня частина вікна відображає стовпчиками величину шуму по окремих каналах АЕ, колір яких відповідає їх амплітуді, і горизонтальними рисками встановлені пороги дискримінації за амплітудою сигналу для кожного каналу АЕ.

Екран «Графіки реального часу» – це екран в правій частині вікна, що відображає графічну залежність процесу зміни обраних користувачем АЕ параметрів у реальному часі при випробуваннях або в умовному часі при комп'ютерному повторі. На кожному графіку відображаються два параметри процесу.

Приклади налаштування АЕ антен (вибірково) наведено в табл. 3–5.

При проведенні АЕ контролю при пневматичних випробуваннях зареєстровано сигнали АЕ по окремих каналах. Загальна тривалість двох етапів випробування – 306 хв. Тип навантаження – пневматика; випробувальний тиск – 12,8 ат ( $\approx 1,25$  МПа).

У процесі підйому тиску передбачалися витримки по  $\approx 10$  хв. кожна з метою виявлення дже-

Таблиця 3. Параметри антен АЕ

Номер антени	Тип локації	Число датчиків	Номери датчиків
1	Зонна	8	1;2;3;4;5;6;7;8
2	«-»	7	9;10;11;12;13;14;15
3	«-»	2	16;17
4	«-»	2	18;19
5	«-»	5	20;21;22;23;24

Таблиця 4. Антена АЕ № 1. Налаштування

Параметр	Значення
Тип локації	Зонна
База, мм	0
База 1, мм	0
Зона 1, мм	0
Зона 2, мм	0
Кластер, X; Y, мм	0; 0
НЧ канали	1;3
Мін. затримка, мкс	0
Макс. затримка, мкс	0
Фільтр, номер	2
Строб, мкс	100000
Частота вимірювань НЧ, мс	5000
Швидкість звуку X, мм/мкс	0
Швидкість звуку Y, мм/мкс	0

Таблиця 5. Антена АЕ № 1. Датчики. Коефіцієнт підсилювання – логарифмічний. Тип порогу – плаваючий

Канал	1	2	3	4	5	6	7	8
Поріг амплітуди, дБ	46,5	46,5	49	48,5	45	45	45	45

рел АЕ, які не викликані технологічними шумами при роботі системи навантаження. Дані щодо тиску заведено у систему АЕ контролю шляхом підключення до манометричної системи. Тарування значень поточного тиску уточнювали після завершення випробувань шляхом співставлення з кривою навантаження на графіку (рис. 3).

**Хід та результати випробування.** Випробування проведено у два етапи. На першому етапі у зв'язку з виникненням технічних питань (виявлено пропуск по різьбовому з'єднанню обов'язочного трубопроводу в районі кріплення манометричної зборки) тиск був піднятий тільки до  $\approx 8$  ат, потім скинутий майже до нуля і випробування було повторено.

Перше випробування записано частково, включно до останньої витримки, у двох окремих файлах. Друге випробування записано від початку і до кінця, у трьох окремих файлах.

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

Графік тиску в процесі випробувань представлено на рис. 3, а.

На графіках (рис. 3, б–г) окрім кривої навантаження  $P$ , ат представлено загальний рівень неперервної акустичної емісії  $A_v$ , дБ, який характеризує акустичну активність в цілому протягом випробування. Як правило, стрімкий ріст цього

параметра відбувається під час навантаження за рахунок високого рівня технологічних шумів, що спричинені роботою систем навантаження. Відзначимо, що наявні на рис. 3, б, г та деяких подальших графіках різкі провали на кривій навантаження  $P$  фізично не відбувалися та пов'язані з тимчасовими затримками передачі технологічних НЧ параметрів від контролюваного об'єкта до системи ЕМА.

Основними завданнями при обробці результатів випробувань було встановити найнебезпечніші ділянки об'єктів контролю та, за наявності попереджень про безпеку першого рівня або вище, отримати прогноз руйнівного навантаження. Кластери, для яких отримано попередження про безпеку, вказують при зонній локації місце, близьке до розташування відповідного датчика АЕ. Для кожного з п'яти файлів, які записані під час випробувань, окремо встановлювали фільтри технологічних шумів згідно з аналізом кривої неперервної АЕ. У зв'язку з цим кожен з п'яти етапів випробування представлений наступним чином: якщо в процесі випробування виникало попередження про безпеку та виконувався прогноз руйнівного навантаження, спочатку надається знімок вікна програми ЕМА-3.92 після завершення комп'ютерного повтору відповідного етапу випробування, інакше знімок не наводиться. Далі для кожної з локаційних антен побудовано 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 в процесі відповідного випробування для певного кластера виявлено необхідні дані для видачі попередження та прогнозу руйнівного навантаження [8], вони відображаються на екрані програми кольором прапорця на небезпечному кластері та кольором індикатора безпеки для антени АЕ, до якої відноситься кластер.

Для етапу першого підйому тиску попереджень про безпеку від АЕ системи не надходило, небезпечних джерел АЕ зареєстровано не було, тому одразу наведено графіки, які демонструють невисоку АЕ активність (рис. 4).

Аналіз даних (рис. 4) показує, що на етапі 1 першого підйому тиску небезпечних джерел АЕ зареєстровано не було. Слід відзначити різкі коливання шуму по всіх антенах. Також слід звернути увагу на виникнення другого за часом джерела АЕ по антені № 5 (датчик № 20). На витримках АЕ подій не спостерігалось.

При подальшому підйомі тиску до максимуму перед початком скидання тиску (рис. 5, б) зареєстровано події АЕ, що відповідають попере-

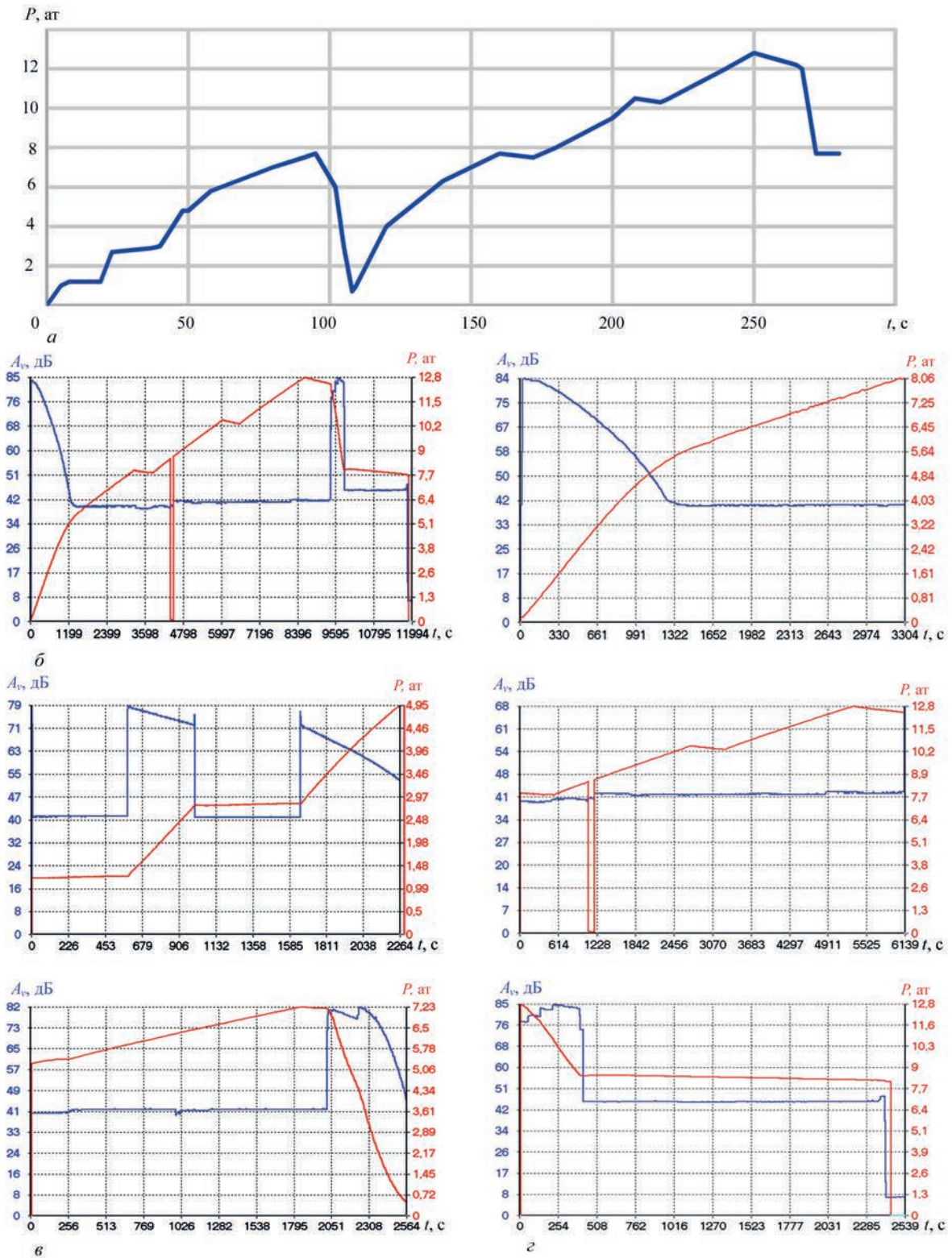


Рис. 3. Зміна тиску при проведенні випробувань: а – загальний графік навантаження при проведенні випробувань; б – загальний графік другого етапу випробувань, побудований програмою ЕМА-3.92; в – графіки ЕМА для двох стадій першого етапу випробувань; г – графіки ЕМА для трьох стадій другого етапу випробувань

дження про безпеку першого рівня «Звернути увагу» для усіх антен АЕ. Відзначимо, що попередження про безпеку формувалося згідно з ДСТУ 4227-2003. Можна виділити номери датчиків, для яких саме видано попередження першо-

го рівня: №№ 1, 10, 16, 17, 18, 21 (жовтий колір прапорців над номерами датчиків). Для інших датчиків попередження відсутні (зелений колір прапорців).

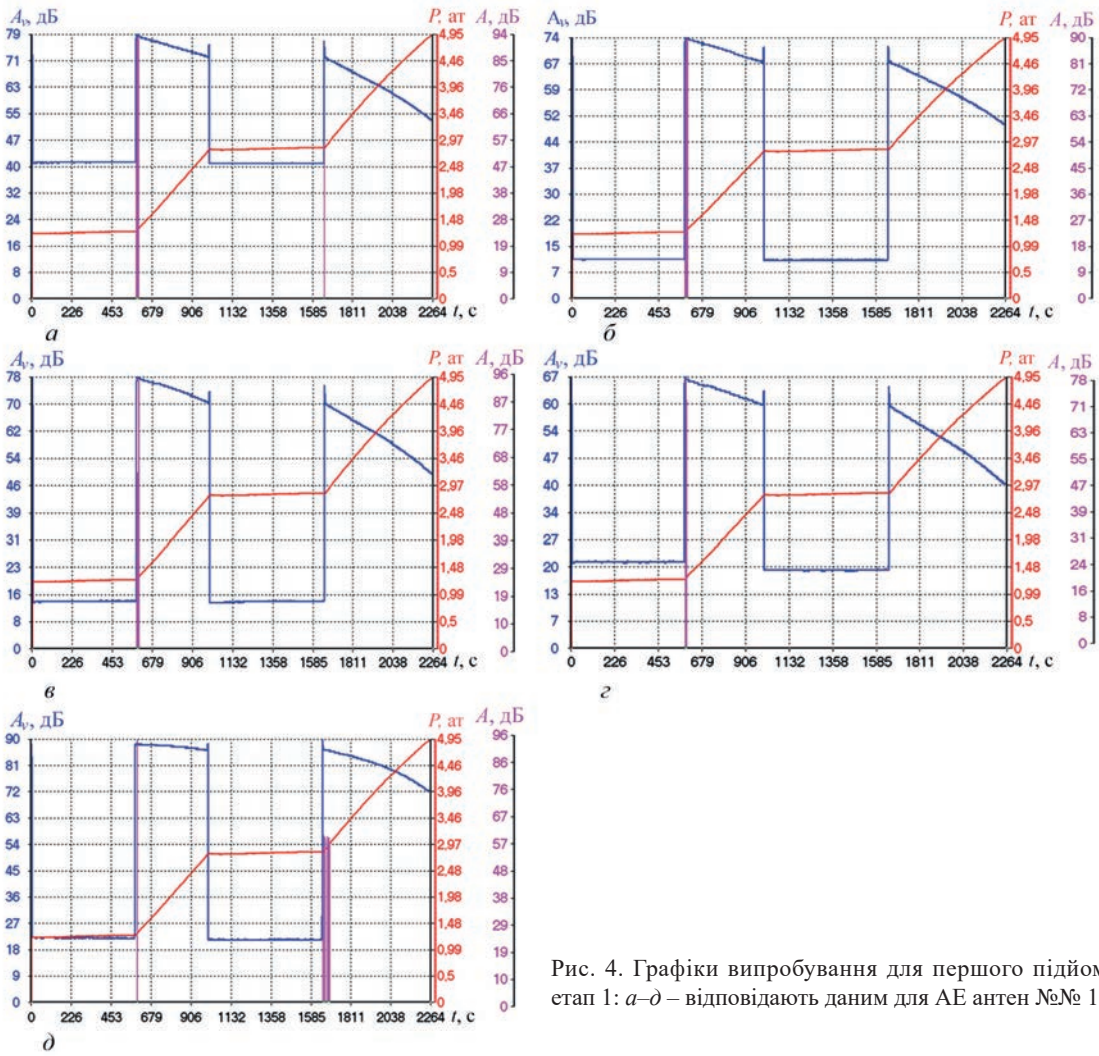


Рис. 4. Графіки випробування для першого підйому тиску, етап 1: а-д – відповідають даним для АЕ антен №№ 1, 2, 3, 4, 5

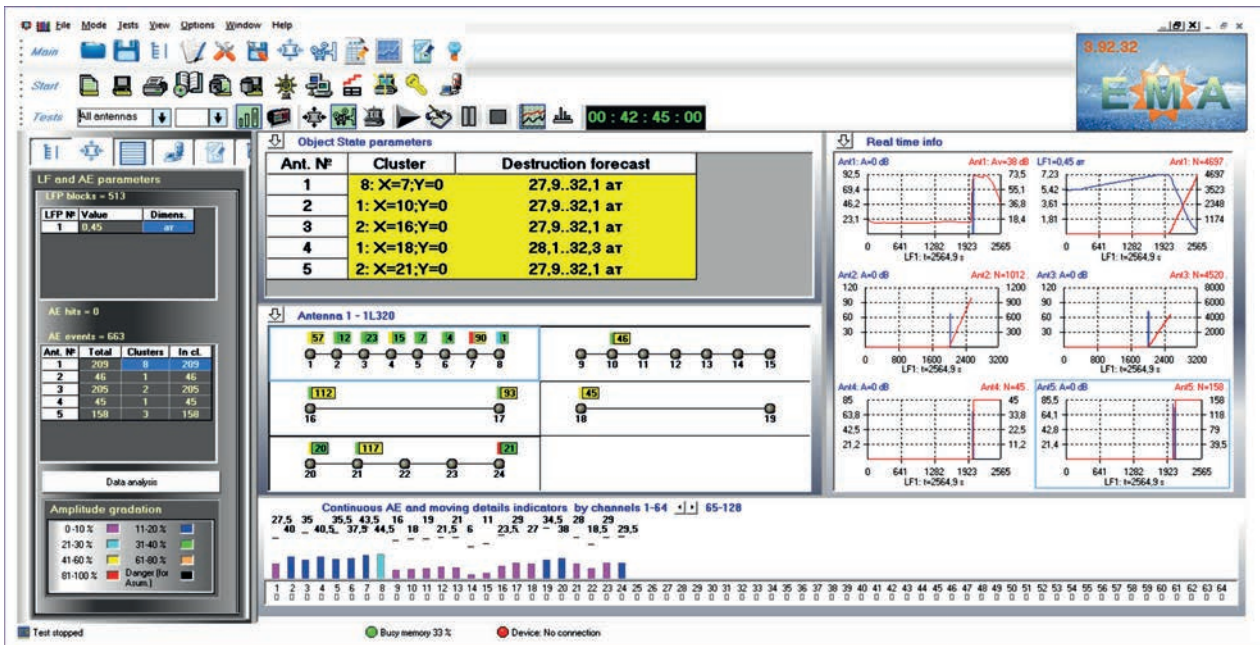


Рис. 5. Вікно програми ЕМА-3.92 після подальшого підйому тиску, етап 1. Спостерігається високий рівень шумів, на максимумі навантаження видано попередження про небезпеку першого рівня «Звернути увагу» для усіх антен. Чітко видно сім кластерів, для яких сформовано попередження. На індикаторах небезпеки – прогноз руйнівного навантаження для всіх АЕ антен

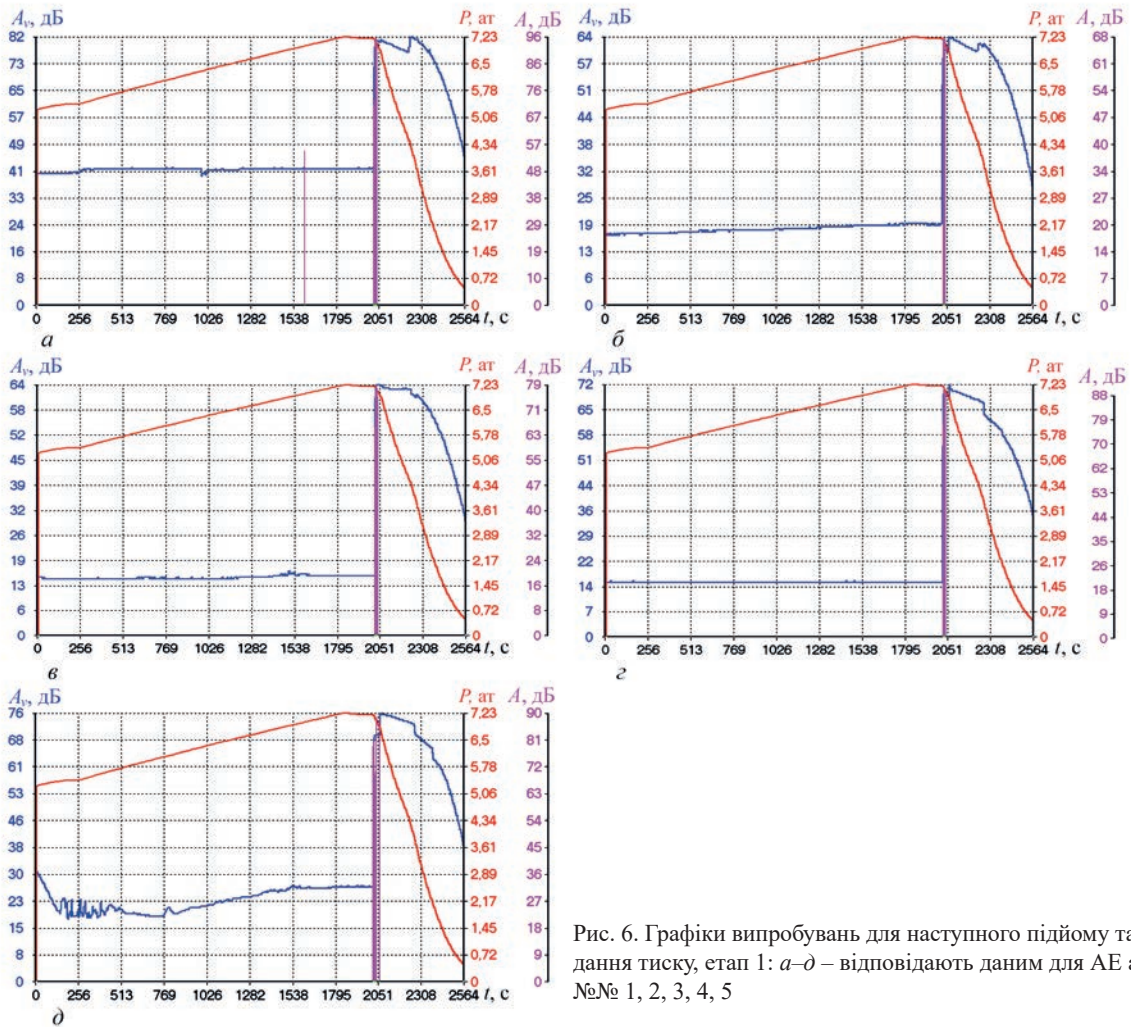


Рис. 6. Графіки випробувань для наступного підйому та скидання тиску, етап 1: а-д – відповідають даним для АЕ антен №№ 1, 2, 3, 4, 5

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

Прогнозні значення суттєво перевищують як максимальний для даних об'єктів контролю (згідно з паспортами) робочий тиск – 6,7 ат, розрахунковий робочий тиск – 10,2 ат, так і випробувальний тиск – 12,8 ат. За даними першого етапу випробувань можна відзначити, що об'єкти контролю знаходяться у задовільному стані та можуть експлуатуватися далі за умови періодичного АЕ контролю і спостереження за небезпечними ділянками.

Слід також відзначити суттєві коливання шуму для антени № 5 протягом усього першого етапу випробування. У значній мірі це стосується датчика № 20. Перший етап закінчився скиданням тиску до мінімуму без досягнення максимального випробувального тиску. Після вирішення технічних питань почався етап 2 – підняття навантаження до 12,8 ат.

Аналіз подальших даних (рис. 7) показує, що на етапі 2 під час початкового підйому тиску не-

безпечних джерел АЕ зареєстровано не було. Слід відзначити різкий підйом шуму на самому початку випробування по всіх антенах, з плавним зниженням його зі зростанням навантаження. Також слід звернути увагу на короточасне виникнення джерел АЕ на самому початку випробування, що, скоріш за все, пов'язано з роботою систем навантаження. Далі АЕ події не спостерігалися. Попередження про небезпеку не генерувалися, відповідні індикатори показували задовільний стан об'єктів контролю.

При подальшому підйомі тиску до максимуму (рис. 8, 9) зареєстровано події АЕ, що відповідають попередженню про небезпеку другого рівня «Підсилити увагу» для двох антен АЕ №№ 1, 5. Визначимо номери датчиків, для яких саме видані попередження: першого рівня – №№ 2, 3 (жовтий колір прапорців над номерами датчиків); другого – №№ 1, 24 (помаранчевий колір прапорців над номерами датчиків). Для інших датчиків попередження відсутні, що відповідає зеленому кольору прапорців.

**Підсумки результатів випробувань.** Узагальнюючи дані прогнозу руйнівного навантаження по

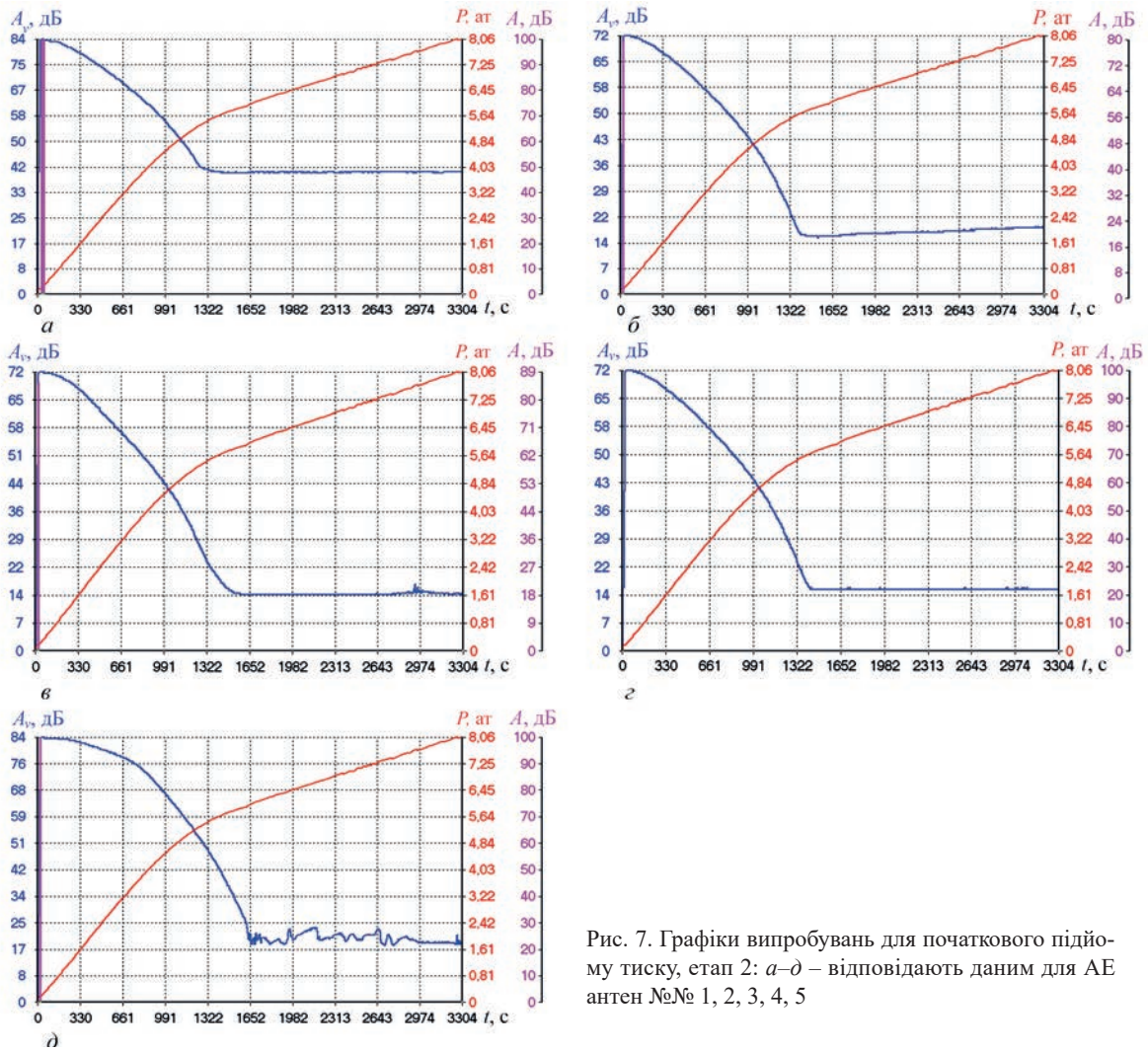


Рис. 7. Графіки випробувань для початкового підйому тиску, етап 2: а-д – відповідають даним для АЕ антен №№ 1, 2, 3, 4, 5

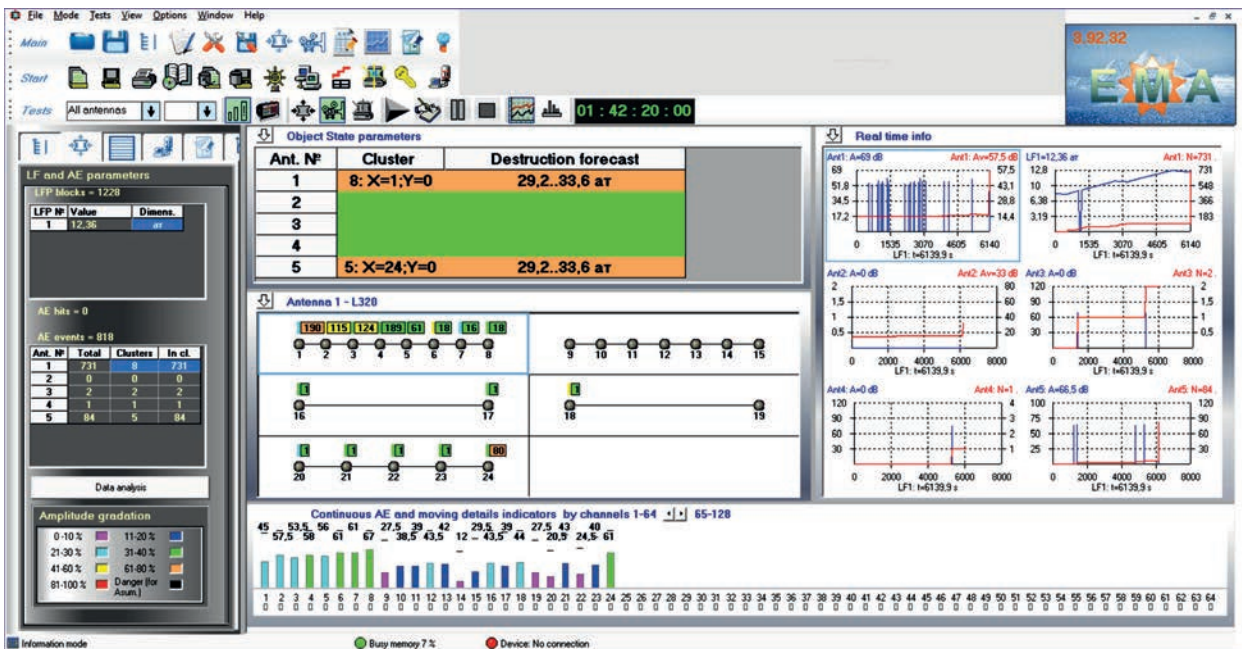


Рис. 8. Вікно програми EMA-3.92 після подальшого підйому тиску до максимуму, етап 2. Спостерігається високий рівень шумів, на максимумі навантаження видано попередження про небезпеку другого рівня «Підсилити увагу» для антен №№ 1, 5. Чітко видно чотири кластери, для яких сформовані попередження. На індикаторах небезпеки – прогноз руйнівного навантаження для двох антен АЕ

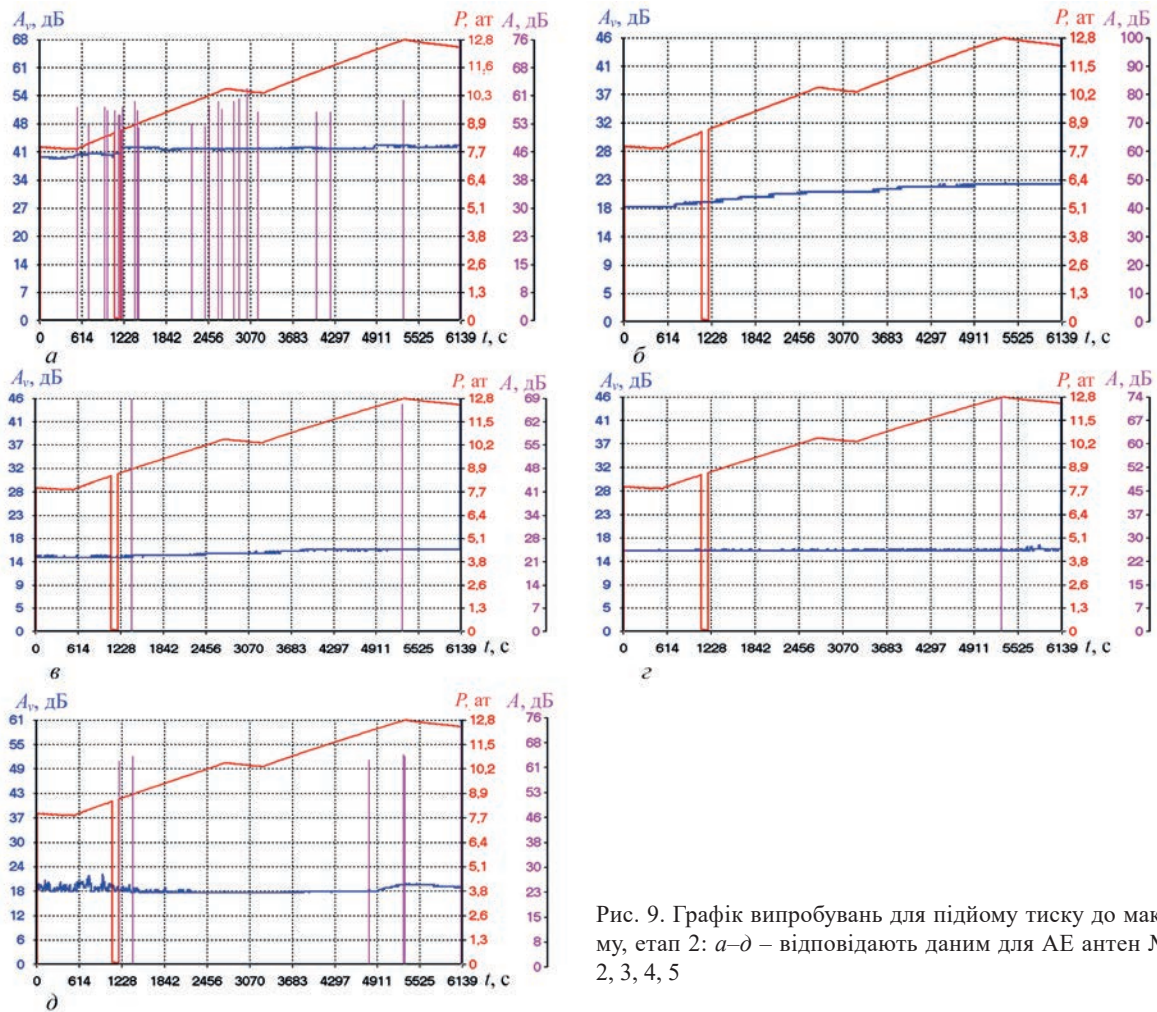


Рис. 9. Графік випробувань для підйому тиску до максимуму, етап 2: а-д – відповідають даним для АЕ антен №№ 1, 2, 3, 4, 5

всіх антенах, отримали діапазон значень прогнозу руйнівного навантаження у межах 27,9...32,3 ат.

Прогнозні значення суттєво перевищують як максимальний для даних об’єктів контролю (згідно з їх паспортами) робочий тиск – 6,7 ат, розрахунковий робочий тиск – 10,2 ат, так і випробувальний тиск – 12,8 ат. За даними другого етапу випробувань можна відзначити, що об’єкти контролю знаходяться у задовільному стані і можуть експлуатуватися далі за умови періодичного АЕ контролю та спостереження за небезпечними ділянками.

Аналіз даних, отриманих під час скидання тиску (рис. 10) показує, що на етапі 2 небезпечних джерел АЕ зареєстровано не було. Слід відзначити різкий підйом шуму на самому початку скидання по всіх антенах з плавним зниженням його по мірі падіння 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 показували задовільний стан об’єктів контролю. Далі випробування завершилося.

При виконанні АЕ контролю під час пневматичного випробування трьох посудин тиску (кисневої колони, азотної колони та головного конденсатора) станції розподілу повітря зареєстровані сигнали АЕ у режимі зонної локації. Отриману інформацію збережено для порівняння при проведенні наступного АЕ контролю для аналізу можливого розвитку зон підвищеної АЕ активності.

Таким чином, на підставі аналізу даних, отриманих при проведенні АЕ контролю посудин тиску станції розподілу повітря при проведенні пневматичних випробувань, вивчення та аналізу інформації щодо об’єктів АЕ контролю та результатів проведення пневматичних випробувань посудин тиску, додаткової обробки даних АЕ контролю виявлено наступне:

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

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

3. Незважаючи на відсутність для датчика № 20 попереджень про небезпеку, в зоні його розташування помічено відхилення АЕ параметрів.

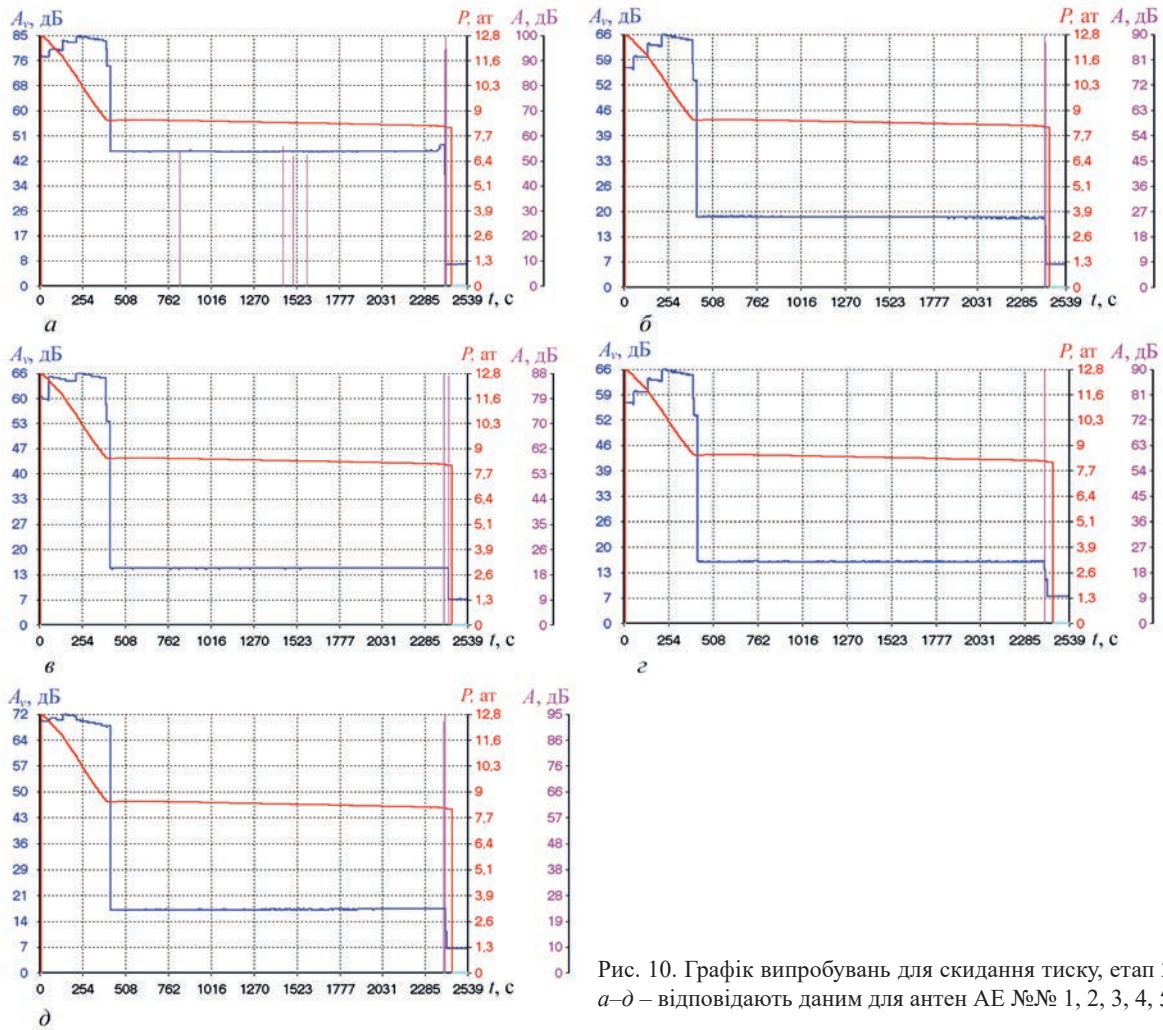


Рис. 10. Графік випробувань для скидання тиску, етап 2: а-д – відповідають даним для антен АЕ №№ 1, 2, 3, 4, 5

трів від таких для інших датчиків, тому рекомендовано звернути увагу й на зону його розташування також.

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 суттєво перевищують як максимальний для об'єктів контролю (згідно з їх технічними паспортами) робочий тиск – 6,7 ат, розрахунковий робочий тиск – 10,2 ат, так і випробувальний тиск – 12,8 ат.

### Висновки

На підставі комплексного аналізу отриманих даних та відповідних нормативних документів визначено, що подальша експлуатація контрольованих посудин тиску можлива на робочих параметрах протягом чотирьох років з обов'язковим проведенням АЕ контролю і спостереження за не-

безпечними ділянками, що відповідають вказаним номерам датчиків, один раз на рік.

На базі отриманих результатів випробувань виконано ряд науково-дослідних робіт, які дозволили удосконалити методики реєстрації сигналів акустичної емісії при застосуванні зонної системи локації.

Внесено зміни в алгоритми оцінки визначення діагностичних параметрів для конструкцій з великим діапазоном робочих параметрів.

### Список літератури

1. Anastasopoulos, A.A., Kourousis, D.A., Cole, P.T. (2008). Acoustic emission inspection of spherical metallic pressure vessels. *The 2<sup>nd</sup> International Conference on Technical Inspection and NDT (TINDT2008), October 2008, Tehran, Iran.*
2. Cheng, L., Nokhbatolfoghahai, A., Groves, R.M., Veljkovic, M. (2023) Acoustic emission-based detection in restricted-access areas using multiple PZT disc sensors. In: P. Rizzo, A. Milazzo eds. *European Workshop on Structural Health Monitoring, EWSHM 2022, 1*, 619–629. (Lecture Notes in Civil Engineering; Vol. 253 LNCE). DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-031-07254-3\\_62](https://doi.org/10.1007/978-3-031-07254-3_62)
3. ДСТУ 4223-2003 *Котли, посудини під тиском і трубопроводи. Технічне діагностування. Загальні вимоги.*

4. ДСТУ 4227-2003 *Настанови щодо проведення акустико-емісійного діагностування об'єктів підвищеної небезпеки.*
5. Скальський В.Р. (2003) Оцінка накопичення об'ємної пошкодженості твердих тіл за сигналами акустичної емісії. *Техническая диагностика и неразрушающий контроль*, **4**, 29–36.
6. Недосека С.А., Овсиенко М.А. (2012) Особенности обработки данных акустической эмиссии для сложных и множественных локационных антенн. *Техническая диагностика и неразрушающий контроль*, **2**, 7–12.
7. Журавльов С.В., Ободовський Б.М., Яременко М.А. та ін. (2021) Впровадження технології АЕ моніторингу на ОПЗ. *Технічна діагностика та неруйнівний контроль*, **3**, 26–32. DOI: <https://doi.org/10.37434/tdnk2021.03.03>
8. 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.
2. Cheng, L., Nokhbatolfoghahai, A., Groves, R.M., Veljkovic, M. (2023) Acoustic emission-based detection in restricted-access areas using multiple PZT disc sensors. Ed. by P. Rizzo, A. Milazzo. In: *European Workshop on Structural Health Monitoring, EWSHM 2022*, **1**, 619–629. (Lecture Notes in Civil Engineering; Vol. 253 LNCE). DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-031-07254-3\\_62](https://doi.org/10.1007/978-3-031-07254-3_62)
3. DSTU 4223-2003 *Boilers, pressure vessels and pipelines. Technical diagnosis. General requirements* [in Ukrainian].
4. DSTU 4227-2003 *Guidelines for conducting acoustic-emission diagnostics of objects of increased danger* [in Ukrainian].
5. Skalsky, V.R. (2003) Evaluation of accumulation of bulk damage in solids, based on acoustic emission signals. *Tekh. Diagnost. i Nerazrush. Kontrol*, **4**, 29–36 [in Russian].
6. Nedoseka, S.A., Ovsienko, M.A. (2012) Features of processing acoustic emission data and application of complex and multiple location arrays. *Tekh. Diagnost. i Nerazrush. Kontrol*, **2**, 7–12 [in Russian].
7. Zhuravlyov, S.V., Obodovskyi, B.M., Yaremenko, M.A. et al. (2021) Introduction of the technology of AE monitoring at OPP. *Tekh. Diahnost. ta Neruiniv. Kontrol*, **3**, 26–32. [in Ukrainian] DOI: <https://doi.org/10.37434/tdnk2021.03.03>
8. Nedoseka, A.Ya., Nedoseka, S.A. (2020) *Fundamentals of calculation and diagnostics of welded structures*: Monograph. 5<sup>th</sup> ed. Ed. by B.E. Paton. Kyiv, Indprom [in Russian].

References

CONDUCTING ACOUSTIC EMISSION TESTING OF TECHNOLOGICAL EQUIPMENT WITH LIMITED ACCESS

S.A. Nedoseka<sup>1</sup>, A.Ya. Nedoseka<sup>1</sup>, M.A. Yaremenko<sup>1</sup>, M.A. Ovsienko<sup>1</sup>, B.M. Obodovskyi<sup>2</sup>, S.G. Epov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>E.O. Paton Electric Welding Institute of NASU. 11 Kazymyr Malevych str., 03150, Kyiv. E-mail: [inpat59@ukr.net](mailto:inpat59@ukr.net)

<sup>2</sup>JSC «Odesa Port Plant». 3 Zavodska Str., 65481, Yuzhne, Odesa reg., Ukraine. E-mail: [office@opz.odessa.ua](mailto:office@opz.odessa.ua)

The paper gives the results of acoustic emission (AE) evaluation during pneumatic testing of pressure vessels in air distribution station at Odesa Portside Plant. It is shown that application of AE testing and respective equipment allowed evaluation of technical condition of the tested objects, as well as taking into account the special features of testing performance, in order to improve the methodological approaches to generation and processing of data of complex structure AE diagnostics. 8 Ref., 5 Tabl., 10 Fig.

Keywords: acoustic emission, zonal location, clustering, amplitude filtering

Отримано 31.08.2023

Отримано у переглянутому вигляді 16.10.2023

Прийнято 10.11.2023



XXIII Міжнародна науково-технічна конференція

«ПРИЛАДОБУДУВАННЯ: СТАН І ПЕРСПЕКТИВИ»

14 – 15 травня 2024 р., Київ, Україна

НТУУ «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»,

Приладобудівний факультет, 03056, Київ, пр. Берестейський, 37, корп.1

Тематика конференції

Секція 1 Комп'ютерно-інтегровані технології та системи навігації і керування

Секція 2 Оптичні та оптико-електронні прилади і системи. Фотоніка

Секція 3 Комп'ютерно-інтегровані технології виробництва приладів

Секція 4 Прилади систем автоматизації

Секція 5 Аналітичне та екологічне приладобудування

Секція 6 Інформаційно-вимірювальна техніка та технології біомедичних досліджень

Секція 7 Неруйнівний контроль, технічна та медична діагностика, підготовка фахівців галузі

Секція 8 Енергозбереження, енергоефективність. Інформаційно-вимірювальні технології обліку енергоносіїв

Секція 9 Метрологічні аспекти вимірювання маси

Секція 10 Автоматизація експериментальних досліджень

Секція 11 Метрологія та інформаційно-вимірювальні технології

Реєстрація на сайті конференції

<http://conferences.uran.ua/> | <http://conferencepb.kpi.ua/conferencepb2024/>