



# ОСОБЛИВОСТІ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АКУСТИКО-ЕМІСІЙНИХ ЗАСОБІВ ДІАГНОСТУВАННЯ

(Огляд. Повідомлення 1)

В. Р. СКАЛЬСЬКИЙ, О. М. СТАНКЕВИЧ, Б. П. КЛИМ, Є. П. ПОЧАПСЬКИЙ

*Розглянуто етапи становлення та розвитку прикладного програмного забезпечення (ППЗ) систем АЕ діагностики. Проведено порівняльний аналіз сучасного стану ППЗ АЕ-засобів провідних світових виробників. Особлива увага зосереджена на характеристиках функціональних можливостей програмних продуктів компаній PAC (США), «Diapac» (Росія), «Valten Systeme» (Німеччина), «Bruel&Kjaer» (Данія), ТОВ «ИНТЕРЮНИС» (Росія), а також ППЗ АЕ-апаратури сімейства ЕМА (Інститут електрозварювання ім. С. О. Патона НАН України), АЕ-комплексу АКЕМ (Національний авіаційний інститут, Україна), сімейства портативних АЕ-засобів SKOP (Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України). Визначено пріоритетні напрямки та тенденції подальшого розвитку ППЗ систем АЕ-діагностування.*

*The stages of formation and development of application software (AS) for systems of AE diagnostics are considered. Comparative analysis of the current state of AF for AE devices of world leading manufacturers is performed. Particular attention is focused on characterizing features of software developed by PAC (USA), Diapac (Russia), Valten Systeme (Germany), Bruel&Kjaer (Denmark), YNTERYUNYS Ltd (Russia) and AS applied in AE equipment of family EMA (The E.O.Paton Electric Welding Institute of National Academy of Sciences of Ukraine), AE complex AKEM (National Aviation Institute, Ukraine), the family of AE portable devices SKOP (Karpenko Physico-Mechanical Institute of National Academy of Sciences of Ukraine). Priorities and trends of further development of AS for systems of AE diagnostics are specified.*

**Актуальність проблеми.** Однією з актуальних проблем сучасного технічного поступу є питання оцінки поточного стану різноманітних промислових об'єктів. Серед них обладнання нафтогазової і хімічної промисловості, теплової та атомної енергетики, трубопровідного та залізничного транспорту, авіаційно-космічної техніки, мостові конструкції, бетонні та залізобетонні споруди тощо. Адже з плином часу суттєво зростає ризик відмови обладнання після його тривалої експлуатації під дією механічних і температурних навантажень, впливу навколишнього та агресивних середовищ тощо.

Одним із важливих напрямків технічної діагностики стану виробів і прогнозування їхніх фізико-механічних характеристик є розвиток методів, що дозволяють вивчати фізичну сутність процесів, визначати їх закономірності і вплив на кінетику зміни властивостей матеріалів. Серед них важливе місце посідає метод, заснований на використанні акустичної емісії (АЕ), яка супроводжує всі процеси, що відбуваються під час руйнування матеріалу. За останні два-три десятиліття бурхливо розвинулись фундаментальні та прикладні дослідження таких процесів із широким залученням для їх пізнання явища АЕ.

Метод АЕ ґрунтується на ефективному реєструванні сигналу АЕ як носія інформації про стан досліджуваних об'єктів із подальшою його обробкою. Маючи сучасні засоби відбору, обробки і зберігання АЕ-інформації, можна здійснюва-

ти ефективно технічне діагностування їх стану у всіх сферах економіки країни.

На жаль, промислове виробництво таких електронних засобів в Україні відсутнє. Із середини 1970-х років розробкою методів, апаратних та програмних засобів АЕ-діагностики займаються переважно наукові інститути та підрозділи, а саме Інститут проблем міцності ім. Г. С. Писаренка НАН України, Фізико-механічний інститут (ФМІ) ім. Г. В. Карпенка НАН України, Інститут електрозварювання ім. С. О. Патона НАН України, Національний авіаційний університет тощо). Зважаючи на значний світовий прогрес у розвитку програмного забезпечення (ПЗ) для АЕ-засобів стосовно прикладного промислового застосування та проведення наукових лабораторних досліджень, виникла необхідність систематизації його за функціональними можливостями.

**Стан проблеми.** Перші спроби здійснення оцінки існуючого зарубіжного та вітчизняного ПЗ АЕ-систем викладені у публікації [1]. Характерними ознаками для ПЗ перших приладів АЕ-діагностування, які з'явилися наприкінці 1960–1970-х років, є його складність та досить обмежені графічні можливості. Це обумовлено тогочасним рівнем розвитку операційних систем обчислювальної техніки. Найвідомішими на цей час були розробки ПЗ АЕ-систем SIMS корпорації «Dunegan/Endevco» в США, [2]. У колишньому СРСР це АЕ-системи АМУР [3] (НВО «Дальстандарт», м. Хабаровськ), АЕ-системи серії АФ [4] (НВО



«Волна», м. Кишинів), багатоканальні прилади Московського інституту ядерної енергетики [5] тощо. Із 1980-х років на ринку АЕ-систем з'являються розробки німецької компанії «Vallen Systeme» серії AMSY [6], угорської фірми «Відеотон» сімейства «ЕМА» [7] та компаній інших країн Європи та Азії.

Другий етап у розвитку ПЗ АЕ-систем пов'язаний із появою на ринку ПЗ комп'ютерної техніки сімейства операційних систем (ОС) Windows, що дало можливість створювати справді потужні програмні засоби із широкими функціональними можливостями та простим і зручним інтерфейсом. Однією з перших найпоширеніших АЕ-систем, ПЗ якої було орієнтоване на роботу в ОС Windows, стала система MISTRAS 2001 корпорації «Physical Acoustics Corporation» (PAC) (США) [8].

У 1990-х роках у ФМІ ім. Г. В. Карпенка НАН України на основі розвитку АЕ-методик технічного діагностування було створено декілька портативних засобів для визначення місць руйнування об'єктів контролю. Серед них чотириканальні прилади SVR-6, прикладне ПЗ якого розраховане на роботу в операційному середовищі DOS [9], та пізніше СК-7 [10], ПЗ якого виконане у діалоговому режимі і працює в середовищі ОС Windows. Починаючи з 2005 р. фахівцями ФМІ розпочато роботи зі створення портативної восьмиканальної акустико-емісійної системи відбору, реєстрації та обробки сигналів акустичної емісії SKOP-8, яка адаптована для роботи з ОС Windows [11]. На даний час виготовлено і проведено випробування АЕ-системи на низці діючих об'єктів, відлагоджено її ПЗ, здійснено метрологічну атестацію [12].

Традиційно програмне забезпечення портативних АЕ-систем складається з мікропрограми, яка забезпечує роботу блока мікропрограмного управління вимірювальним засобом, і прикладного ПЗ, яке встановлюється в персональний комп'ютер (ПК), та виконує обробку і візуалізацію АЕ-даних, забезпечує їх збереження.

Метою дослідження є проведення порівняльного аналізу сучасного стану ПЗ АЕ-засобів провідних світових виробників та визначення пріоритетних напрямків та тенденцій його подальшого розвитку.

**Аналіз найпоширенішого ПЗ компанії PAC.** На передових позиціях у розробці та розповсюдженні високоякісного обладнання для НК був і залишається міжнародний холдинг «Mistras Group, Inc.» (Misrtas) [13], який об'єднує компанії-виробники приладів для НК і підприємства, що здійснюють роботи з технічної діагностики, багатьох країн світу (Китай, Великобританія, Франція, Японія, Бразилія, Росія, Греція, Німеччина, Нідерланди та ін.). Основою холдингу слугує компанія «Physical Acoustics Corporation» (PAC) [14] (США) — загальноновизнаний світовий

лідер у галузі акустико-емісійних технологій. ПЗ для АЕ-систем фірми PAC функціонально ідентичне для всіх типів акустико-емісійних систем — PC-2, DiSP, Samos і відрізняється лише внутрішніми командами управління електронікою, які недоступні для користувача. Прикладні програмні продукти охоплюють широкий спектр методів АЕ-діагностування, включаючи найсучасніші із них, наприклад, швидке перетворення Фур'є (FFT), аналіз даних за допомогою нейронних мереж, розпізнавання образів, вейвлет-аналіз (wavelet), тензорний момент та ін. Спільною рисою всіх пакетів програм є наявність зручного для користувача графічного інтерфейсу із можливостями здійснення різноманітних додаткових операцій (маніпулювання даними, друк, робота в мережі, експорт даних тощо). Всі програмні засоби PAC адаптовані для роботи у середовищі Windows. Існуюче ПЗ PAC класифікується за наступними категоріями [15]:

1. PACwin Suite (AEwin<sup>TM</sup>, AEwinPost<sup>TM</sup>, Noesis<sup>TM</sup>) — для загального АЕ-тестування та аналізу;
2. PACturkney (MONPAC-PLUS<sup>TM</sup>, Loose Parts Monitoring, AIMS) — для інтелектуальних експертних АЕ-систем;
3. PACremote (PAC AE Viewer, PAC Intelligent Data Provider Program, PAC-C3) — для віддалених від джерела АЕ систем;
4. PACspecial (Moment Tensor, PolyModal) — для спеціальних методів обробки сигналів АЕ;
5. PACshare (Multi-layer Dispersion Curve, Wavelets, Spectrogram & Short Time FFT) — для деяких спеціальних методів обробки сигналів АЕ, що суттєво відрізняються від загальних.

*Прикладне ПЗ Noesis<sup>TM</sup>.* Розроблений на основі 25-річного досвіду застосування АЕ програмний пакет PACwin Suite складається з двох основних програмних продуктів, створених на платформі Windows: це пакет збору та обробки сигналів АЕ в реальному часі AEwin<sup>TM</sup> із опційною підпрограмою постобробки AEwinPost<sup>TM</sup>, а також найрозвиненіший та затребуваний на сучасному ринку систем НК пакет постобробки Noesis<sup>TM</sup>. Він розроблений грецьким (Enviroacoustics A.B.E.E.) підрозділом PAC. Детальну характеристику пакетів програм AEwin<sup>TM</sup>) та AEwinPost<sup>TM</sup> зроблено у праці [1]. Розглянемо особливості програмного пакету Noesis<sup>TM</sup>.

ПЗ Noesis<sup>TM</sup> широко застосовується у всьому світі для розв'язання великої кількості різноманітних задач, від інспекції промислових об'єктів до космічних технологій. Алгоритми розпізнавання образів і нейронні мережі у поєднанні з функціями обчислення параметрів АЕ за записаними формами імпульсів і підтримкою зовнішніх даних, забезпечують детальне дослідження будь-яких наборів інформації, що робить Noesis потужним дослідницьким інструментом. До скла-



ду ППЗ входять також спеціальні програми «майстри», які допомагають економити час при інтерпретації даних АЕ для будь-яких задач. Можливості обробки даних і функціональність програм суттєво покращені у версії Noesis 5.0 [16]. Більше того, в останніх версіях усі можливості Noesis у поєднанні з АЕwin™ доступні для аналізу даних у реальному часі.

Пакет програм Noesis адаптований для роботи в операційних системах Windows 9x/NT4/2000/XP. Багатодокументний інтерфейс MDI дозволяє працювати одночасно з декількома документами. Стосовно можливостей файлової системи зазначимо, що Noesis підтримує формати файлів даних PAC (PCI2, DiSP, SPARTAN, MISTRAS, LOCAN) із розширенням \*.DTA, \*.TDA, \*.WFS, а також ASCII-файли. Формат документа Noesis із розширенням \*.poe забезпечує компактний та ефективний спосіб збереження інформації. Окрім того, доступним є злиття/розділення файлів багаторазового використання (\*.DTA) та одночасного їх завантаження для прямого порівняння чи статистики, легкий обмін будь-якими даними з іншими Windows-додатками. У пакеті передбачені такі зручні для користувача функції як динамічний поділ вікон (1, 2 або 4 різних віконних види) та впорядкування екранних сторінок зручним для користувача способом — одночасно на екрані можна відобразити в загальному 16 активних вікон (рис. 1).

Для відображення даних Noesis пропонує різноманітні типи графіків — точковий, лінійний, гістограма, кумулятивний та ін., а також табличний спосіб представлення інформації. Користувач за бажанням може редагувати графіки, використовуючи різноманітні графічні фільтри, опції графічного збільшення тощо.

Широкий спектр мають функції обробки даних. Зокрема, є два способи вибору групи АЕ-сигналів на графіку: захоплення «мишкою» або за допомогою опцій фільтрації. Здійснений вибір автоматично відображається на всіх графіках. Програма має опції: сортування будь-яких ознак

АЕ-сигналу, у тому числі виділених програмно із форми сигналу (час, амплітуда, тривалість і т. д.); «виділення ознак» за вимогою користувача (із оцифрованих сигналів підтримує виділення ознак як у часовій, так і в частотній областях); «зонна локація джерел», що дозволяє аналізувати всю послідовність АЕ-сигналів, які відносяться до даної події. Для всіх наборів даних можливий розрахунок наступних характеристик: min і max значення, середнє значення та асиметрія вибірок; отримання/відображення кореляційної/коваріаційної матриці ознак, дендограми кореляції ознак, статистичних критеріїв, які використовуються в задачі розпізнавання, статистичних характеристик класів/кластерів (центрів кластерів, відстаней всередині та між кластерами тощо) (див. рис. 2); різноманітні алгоритми автоматичної кластеризації, у тому числі максимінна відстань, K-середнє, нейронні мережі та ін.; запис результатів кластеризації в PAC-сумісні файли даних із можливістю наступного використання як еталонних при розв'язуванні задачі класифікації.

ПЗ Noesis повністю підтримує функції відображення форм хвилі: огляд до восьми форм хвилі у будь-якому вікні за вибором користувача та з різноманітними комбінаціями синхронізації, що забезпечує найдинамічніший спосіб їх розгляду та аналізу; можливість представлення форм хвилі у різних форматах. Для представлення форм хвилі може бути використаний графічний або інший тип фільтрації даних. Зміни в параметрах налаштувань апаратних засобів негайно відображаються на формах хвилі (див. рис. 3).

Пакет Noesis призначений для детальної обробки АЕ-даних із можливістю розпізнавання образів, включаючи аналіз даних за допомогою нейронних мереж (рис 4). Пакет програм пропонує контрольоване (Supervised Pattern Recognition) SPR та неконтрольоване (Unsupervised Pattern Recognition) UPR розпізнавання образів. UPR пропонує такі функції: попередню обробку АЕ-даних, їх нормалізацію, що сприяють ефективнішому та

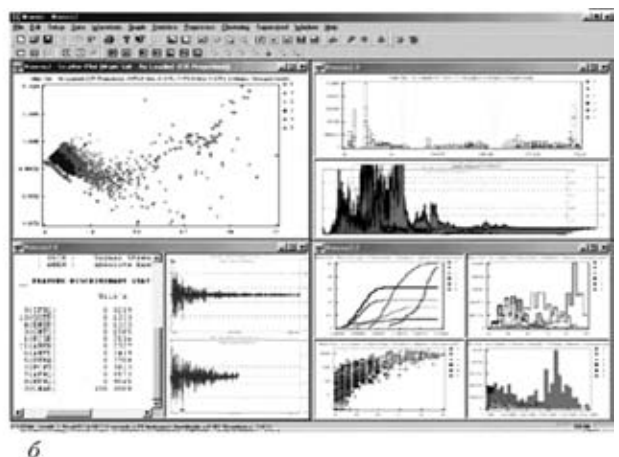
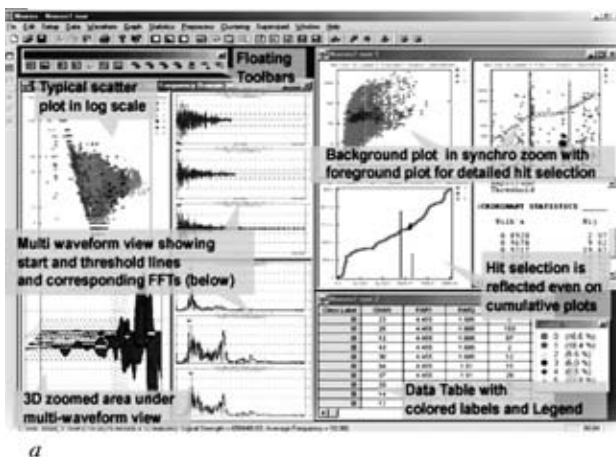


Рис. 1. Засоби графічного відображення даних АЕ-сигналів за допомогою ПЗ Noesis

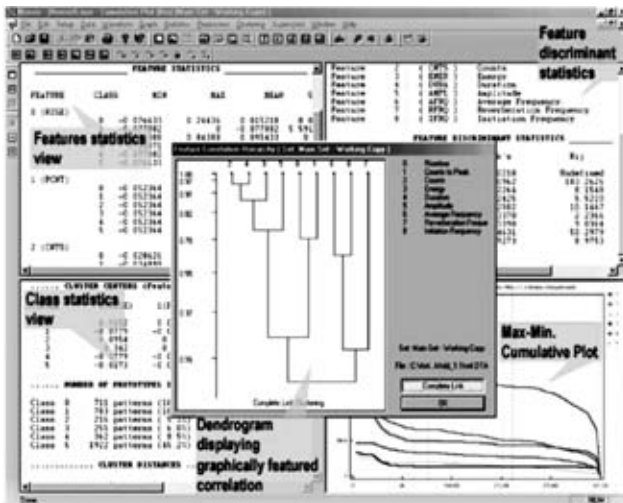


Рис. 2. Форми представлення обробки АЕ-сигналів ПЗ Noesis

арифметично об'рунтованому об'єднанню у кластери; багаторазові алгоритми UPR, включаючи нейронні мережі, для групування даних (max-min відстань, LVG мережа тощо). Всі дії застосовують до робочої копії даних, залишаючи при цьому без змін головні набори даних, для здійснення кращого аналізу; можливе ручне групування у кластери для оцінки і класифікації з використанням загальних АЕ-методів. SPR алгоритми одночасно з пакетом АЕwin<sup>TM</sup> дають можливість обробки АЕ-даних у реальному часі та класифікації за допомогою нейронних мереж.

**Програмні засоби PACturkney.** Програмний пакет PACturkney (MONPAC-PLUS<sup>TM</sup>, Loose Parts Monitoring, AIMS) призначений для інтелектуальних експертних АЕ-систем. Зокрема, MONPAC-PLUS<sup>TM</sup> — пакет програм з інтелектуальними процедурами та критеріями у відповідності до промислових стандартів для контролю трубопроводів та резервуарів; Loose Parts Monitoring — програмне забезпечення, яке базується на стандарті ASME OM-S/G-1997. Воно має ручні та автоматичні методи управління, здійснює аудіомоніторинг, спеціальний аналіз форм хвилі, контроль методу захисту та авторизації, багаторазо-

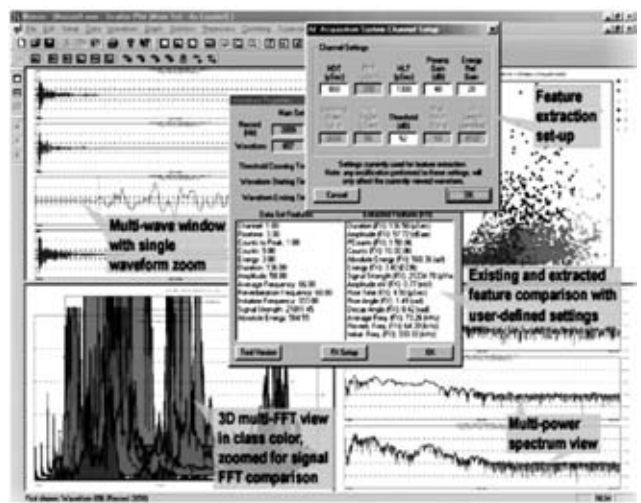


Рис. 3. Представлення форми хвилі ПЗ Noesis

вий аналіз та автоматичне діагностування; інтелектуальний пакет програм із спеціальними знаннями AIMS, призначений для тестування згідно промислових стандартів навантажувальних машин.

**Програмні засоби PACremote.** Група програмних засобів PACremote (PAC AE Viewer, PAC Intelligent Data Provider Program, PAC-C3) призначена для систем, віддалених від джерела АЕ. Програмний пакет PAC AE Viewer дозволяє користувачу, віддаленому від об'єкта контролю, керувати іншим мережевим комп'ютером через віртуальний робочий стіл. PAC Intelligent Data Provider Program — програмне забезпечення, яке автоматично передає сигнал тривоги, контролює сигнали та інформаційні файли базової мережевої станції для моніторингу віддаленого об'єкта через мережі Інтернет та Інтранет. PAC-C3 (Command Control Console) — програма, яка здійснює моніторинг АЕ через зв'язок із інтелектуальним ПЗ (IDP), розміщеним на системному вузлі Інтранет.

**Програмні засоби PACspecial.** До спеціальних методів обробки сигналів АЕ належать програмні засоби PACspecial (Moment Tensor, PolyModal). Для аналізу форм хвилі використовують ППЗ Moment Tensor, яке забезпечує визначення джерела локації, власних векторів моменту тензора, компонент моменту тензора та джерело декомпозиції компонент. PolyModal — пакет програм, який здійснює аналіз класичних хвильових методів і перетворення цифрових сигналів на основі багатоваріаційної дисперсії та характеристик матеріалів, користувачу надається право вибору стратегії фільтрування та перетворення сигналів.

**Програмні засоби PACshare.** Для деяких спеціальних методів обробки сигналів АЕ, що суттєво відрізняються від загальних, використовують пакети програм PACshare (Multi-layer Dispersion Curve, Wavelets, Spectrogram & Short Time FFT). Multi-layer Dispersion Curve — програмне забезпечення, яке пропонує різноманітні хвильові методи для АЕ та ультразвукових сигналів на ос-

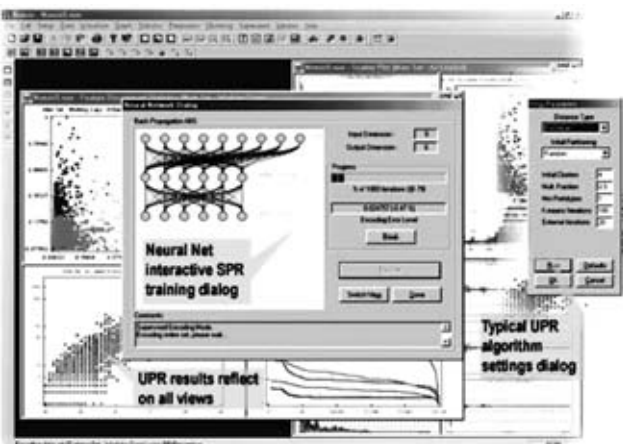


Рис. 4. Розпізнавання образів ПЗ Noesis



нові моделювання структури та управління всіма параметрами (матеріал, товщина та ін.), включаючи обробку багатшарових структур. Wavelets — програма, що здійснює обробку та аналіз АЕ-сигналів на основі вейвлет-аналізу, визначає коефіцієнти та псевдочастоту миттєвої форми хвилі АЕ, має гнучкі графічні функції. Spectrogram & Short Time FFT — за допомогою швидкого перетворення Фур'є програма визначає на малих ділянках частково покритих форм хвиль реальний час та частотну інформацію.

*Застосування ПЗ компанії PAC для спеціальних технологій НК.* На основі розробленого програмного забезпечення MISTRAS та її дочірні підприємства розробили низку конкретних технологій для НК у різноманітних галузях промисловості. MONPAC — застосовується під час діагностики трубопроводів, ємностей у вигляді сфер, різного типу реакторів, резервуарів тощо. TAN-KPAC — технологія перевірки стану днищ резервуарів. Дозволяє класифікувати днища резервуарів за ступенем їх пошкодження, враховуючи розміри резервуару, тип вмісту продукту, а також висоту донних нашарувань. CORPAC — прилад і технологія оцінки ступеня корозійних пошкоджень для об'єктів із нержавіючої та вуглецевої сталі, сплавів алюмінію, цирконію тощо. Застосовується для діагностики резервуарів, трубопроводів, реакторів, залізничних цистерн тощо. VPAC — технологія, що використовує АЕ-діагностику для знаходження витоків через клапани та засувки протягом служби об'єкта контролю. Пакет дозволяє користувачу оцінити внутрішню норму витoku і пов'язати цю інформацію з поточною вартістю втраченого продукту. PowerPAC-технологія дозволяє забезпечити он-лайн контроль енергетичних перетворювачів на основі виявлення та оцінки електричних і теплових дефектів. Пакет використовують для діагностики резервуарів, трубопроводів тощо.

**ПЗ компанії «Diarac».** Компанія «Diarac» (підрозділ PAC у Росії) пропонує програмний продукт Line-Focus [17], сучасний 32-бітний додаток Windows, призначений для постекспериментальної обробки АЕ-даних, отриманих під час контролю протяжних об'єктів (наприклад, магістральні трубопроводи). Програма розроблена з врахуванням факторів, що ускладнюють пошук справжніх джерел емісії в протяжних об'єктах, і дозволяє з високою швидкістю і вірогідністю проводити обробку та інтерпретацію даних АЕ контролю. Додаток включає типові стандартні засоби обробки АЕ даних, а також спеціальні функції, що дозволяють проводити автоматичну фільтрацію імпульсних і періодичних електромагнітних завад, здійснювати локацію джерел сигналів і оцінювати рівень їх небезпеки. Окрім стандартного лінійного алгоритму локації програма вико-

ристовує кореляційний метод локації імпульсних сигналів, що дозволяє уникнути пропуску «корисних» джерел в умовах високої активності АЕ. Із метою підвищення вірогідності виявлення справжніх джерел проводяться аналіз параметрів АЕ сигналів, що створюють події. При визначенні вірогідності події проводяться перевірки відповідності амплітуд сигналів з урахуванням заникання і оцінюється фактор спотворення форми сигналів під час поширення (зміна таких параметрів АЕ, як час наростання, тривалість, сумарний рахунок).

**ПЗ компанії «Vallen Systeme».** Європейський ринок НК представляє компанія «Vallen Systeme» [18] (Німеччина), заснована у 1980 р. Спектр її продукції охоплює всю вимірювальну послідовність від сенсорів, підсилювачів, вимірювальних систем до програмного забезпечення обробки АЕ-даних. АЕ-системи цієї компанії серії AMS (AMS1, AMS2, AMS3, з 1996 р. — AMSY4 та 2001 р. — AMSY-5) відомі широкому колу міжнародних користувачів (90% експорту) та відповідають всім вимогам щодо функціональності, якості та надійності таких систем. Зокрема, АЕ-система AMSY-5 допускає від 1 до 254 незалежних каналів реєстрації сигналів АЕ та до восьми 16-розрядних параметричних каналів. Їх використовують для діагностування ємностей високого тиску та трубопроводів, корпусів літаків, об'єктів із металу та композитних матеріалів, куполоподібних споруд, наземних сховищ, мостів тощо, об'єктів з армованих пластиків та кераміки, дослідження втомних характеристик матеріалів, для геотехнічних обстежень, визначення місцезнаходження часткових розрядів у трансформаторах та в багатьох інших галузях.

ПЗ, яке представляє сьогодні на ринку «Vallen Systeme», було розроблене у 1997 р. Із плином часу воно постійно модифікувалось. До головних програмних пакетів належать Vallen VisualAE™, Vallen VisualClass™, Vallen VisualTR™, а також спеціальні програмні продукти AGU-Vallen Wavelet та DTA-Converter available. Усі програмні пакети сумісні із Windows 9x/NT4/2000/XP.

*ПЗ Vallen VisualAE™.* Програма Vallen VisualAE™ — це стандартне програмне забезпечення для опрацювання АЕ-даних із зрозумілим для користувача інтерфейсом. За допомогою конвертора у програму можна імпортувати існуючі DTA-файли та здійснювати їх обробку і аналіз. Водночас, допустимий експорт текстових даних ASCII або форматуваних із розширенням RTF у файли MS-Word або MS-Excel та графічних файлів із розширенням BMP або JPG. VisualAETM передбачає багатозадачний режим збору та обробки даних (із розділенням цих завдань), який дозволяє додавати графіки, змінювати параметри обробки, повторно аналізувати дані і т. д. у процесі



тестування, без спотворення даних, що отримуються. Для визначення координат АЕ-джерел пропонуються різні алгоритми: лінійної, планарної, циліндричної, сферичної, мультитриплетної, тривимірної локації, окрім того, програма здійснює оцінку стану днищ резервуарів. Користувач має можливість маркування, виділення даних. У програму вбудований потужний кластерний процесор, що включає можливості редактора і фільтра кластерів. Користувач може проаналізувати форму хвилі у часовому та частотному режимах, використовуючи FFT, виділення даних, цифрові фільтри, за допомогою кореляцій Гаусса тощо. За допомогою програми можна інтегрувати статистичні дані та інформацію про форми хвилі у програмний модуль Vallen VisualClass™ для розпізнавання образів. На рис. 5 представлено приклад відображення даних АЕ-сигналів програмою Vallen VisualAE™.

Модуль Vallen VisualClass™ (створений у 1997 р.) відіграє роль класифікатора хвильових форм. Він дозволяє

аналізувати форму хвилі, класифікувати АЕ-імпульси, визначати номер класу та ступінь відмінності між класами для кожного сигналу. Водночас усі ці результати можна статистично опрацювати, відобразити графічно або у цифровому вигляді, або з використанням фільтрування АЕ-сигналів. Також результати класифікації можуть бути експортовані у програму VisualAE™. Програма включає навчальні стратегії оптимізації АЕ-сигналів та має контексну допомогу до всіх пунктів меню.

Разом із програмним модулем VisualClass™ був створений пакет Vallen VisualTR™ як інструмент прискореного аналізу хвильових форм. TR підтримує «швидкоплинні дані», під якими розуміються повні форми хвилі. VisualTR™ пропонує TR-діаграми, TR-сторінки та TR-вікна. TR-діаграма показує одну форму хвилі у часовій і/або частотній залежності. Декілька діаграм можуть бути згруповані у TR-сторінку. Декілька сторінок можна згрупувати у TR-вікно. Одночасно можуть бути активними декілька TR-

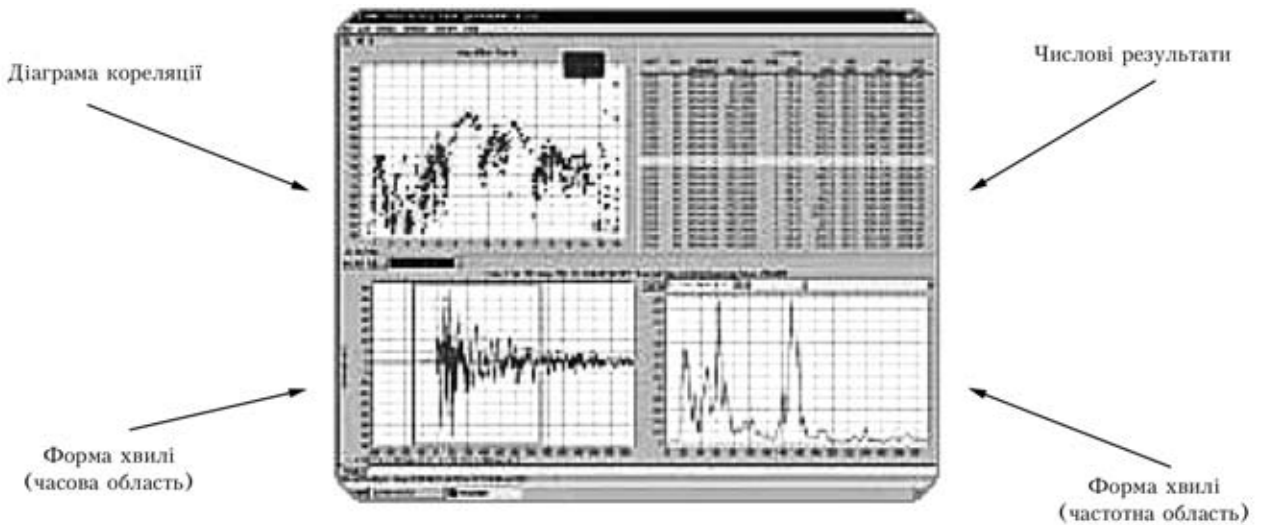


Рис. 5. Форми відображення АЕ-даних у програмі VisualAE™

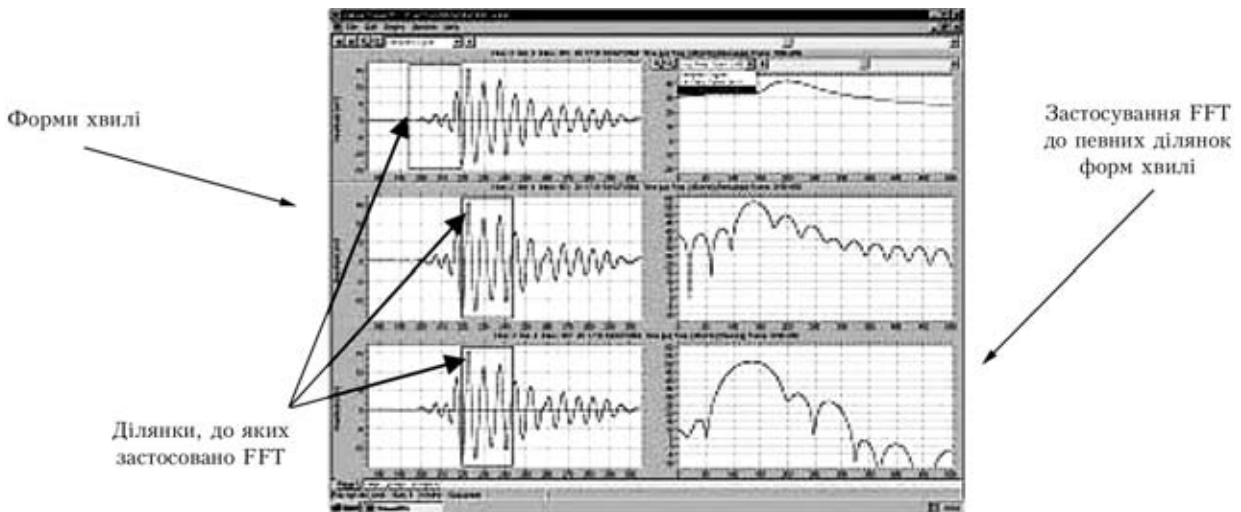


Рис. 6. Відображення форми хвилі у програмі Vallen VisualTR™

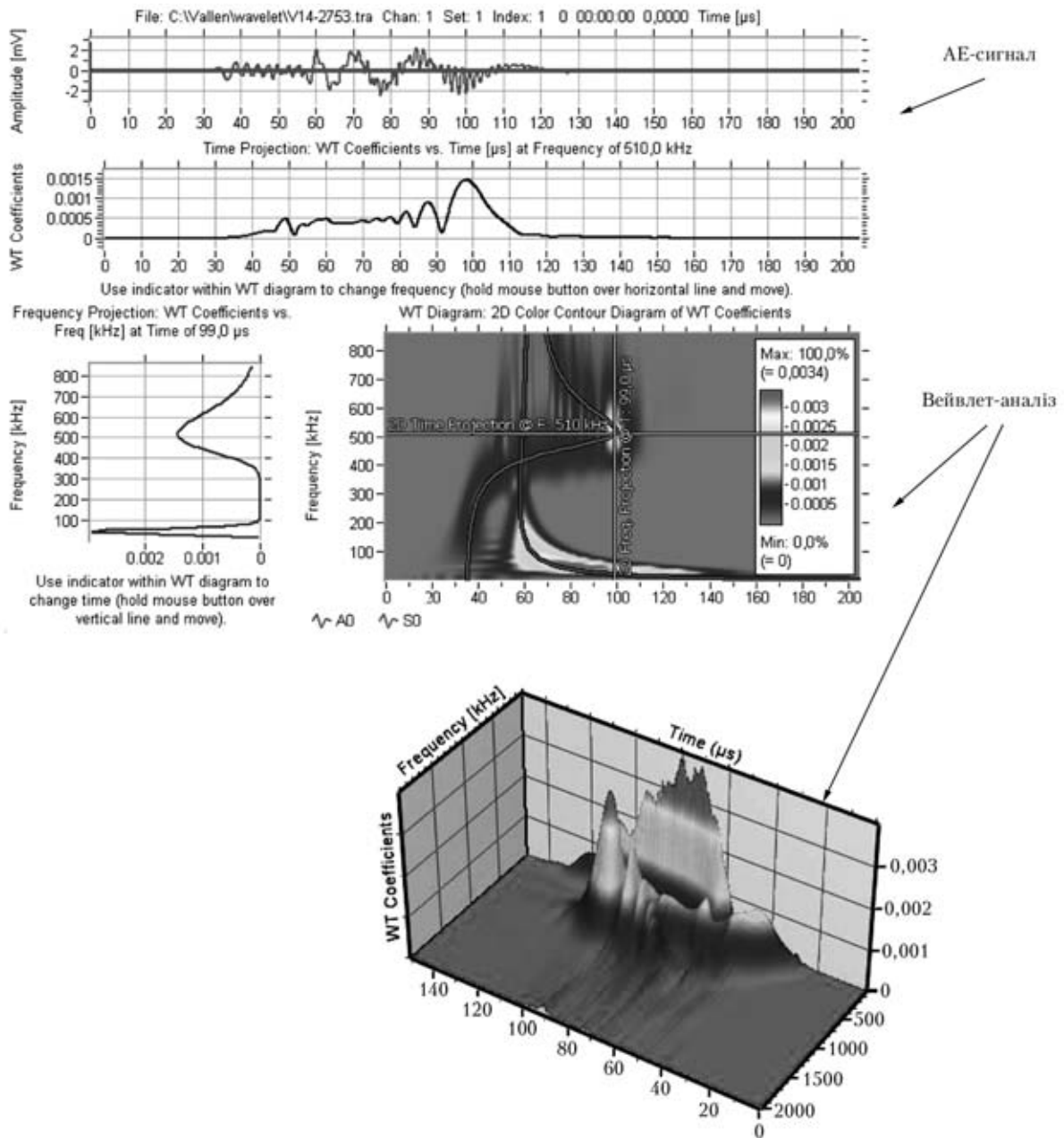


Рис. 7. Форми відображень хвильових перетворень програмою AGU–Vallen Wavelet

вікон. Ця ієрархія дозволяє користувачу у зручному режимі порівнювати форми хвилі, наприклад, різні сигнали однієї події; перші сигнали різних подій; сигнали різних випробувань (збережені у різних файлах); різні види відображення одних і тих самих сигналів.

Приклад відображення форм хвиль Vallen VisualTR™ представлений на рис. 6. Рамки на формах хвилі показують ділянку, на якій застосовано FFT.

Визначення FFT з різних частин сигналу показує відмінності між частотними спектрами. На двох нижніх графіках використані різні функції зображення сигналу.

До Vallen VisualTR™ входять додаткові інструменти: TR-Combi (полегшує вибір досліджуваних даних із багаторазових вхідних файлів до одного вихідного файлу класу для тренуваль-

ного класифікатора у VisualClass™), TR-Copy (копіює вихідні форми з одного вхідного файлу до одного вихідного файлу класу згідно переліку, який може бути згенерований автоматично програмою або вручну користувачем), TR-Indexer (перенумерує TR-індекси у TR-файлах перед об'єднанням даних у різні вхідні файли, допомагає зберігати відповідність між формами хвилі та АЕ-подіями), TR-Feature Extractor (виокремлює особливості форм хвилі (наприклад, спектр центра ваги) для читання, графічного зображення або фільтрування у VisualAE™), TR-Unifer (працює з VisualClass™, вимагає запис всіх TR-файлів у межах одного проекту в одному форматі і сам змінює в разі потреби формати цих файлів для забезпечення їх сумісності), TR-Filter (можливість використання визначеного користувачем частот-



ного фільтру даних форм хвилі додатково до апаратних фільтрів).

*Програмний модуль DTA-converter.* Конвертор файлів DTA-converter створений для переведення DTA-файлів, отриманих у різних акустико-емісійних системах Locan, Spartan, Mistras, DiSP, у Vallen формат PRI, що дозволить використовувати їх дані для опрацювання у програмах VisualAE™, VisualTR™, VisualClass™.

*Програмний модуль AGU-Vallen Wavelet.* Програма AGU-Vallen Wavelet [19] була створена у результаті співпраці Vallen Systeme, Університету Аояма Gakuin (AGU, Токіо, Японія) та Денверського університету (США). Група AGU здійснила дослідження часово-частотних залежностей в АЕ, а «Vallen Systeme» розробила ПЗ, яке дозволяє здійснювати вейвлет-аналіз (wavelet) та перетворення Чой-Вільямса (Choi-Williams) для індивідуальних форм хвиль. На рис. 7 зображені способи представлень часово-частотної залежності та вейвлет-аналізу (2D та 3D проєкції).

Програма пропонує також обчислення дисперсії кривих хвильових перетворень. Фахівці Vallen Systeme вбачають великий майбутній потенціал вейвлет-аналізу як одного із перспективних методів обробки АЕ-даних.

*Одним из важнейших направлений технической диагностики (ТД) состояния изделий и прогнозирования их физико-механических характеристик является развитие методов, которые позволяют изучать физическую сущность процессов, определять их закономерности и влияние на кинетику изменения свойств материалов. Среди них особое место занимает метод акустической эмиссии (АЭ), которая сопровождает все процессы, происходящие во время разрушения материала.*

*Рассмотрены этапы становления и развития прикладного программного обеспечения (ППО) систем АЭ диагностики.*

*Проведен сравнительный анализ современного состояния ППО АЭ средств ведущих мировых производителей. Особое внимание уделено характеристике функциональных возможностей программных продуктов компаний PAC (США), «Diparc» (Россия), «Vallen Systeme» (Германия), «Briel&Kjaer» (Дания), ООО «ИНТЕРЮНИС» (Россия), ЗАТ "НВФ "ДИАТОН" (Россия), а также ППО АЭ аппаратуры семейства ЕМА (Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины), АЭ комплекса АКЕМ (Национальный авиационный институт, Украина), семейства портативных АЭ средств SKOP (Физико-механический институт им. Г. В. Карпенко НАН Украины).*

*Для программной реализации АЭ методов ТД в среде Windows в настоящее время лидируют средства визуального проектирования и объектно-*

*но-ориентированного программирования событий, такие как Microsoft Visual Basic (язык программирования Visual Basic) и Borland Delphi (язык программирования Object Pascal). Оба программных продукта имеют удобный визуальный интерфейс и освободили программистов от многих лишней усилий. Однако Borland Delphi вышла на первое место среди средств программной реализации АЭ методов, имея ряд существенных преимуществ: возможность использования и создания DDL-библиотек (Dynamic Link Library) и специальных элементов управления (таких как ActiveX) для наращивания функциональных возможностей; возможность реагирования на любые события, которые возникают в Windows; полная компиляция программ в машинный код, понятный компьютеру, что способствует высокому быстродействию программных продуктов.*

*Таким образом, параллельно с разработкой новых поколений АЭ систем совершенствуется и их программное обеспечение, выполненное на базе современных достижений в области информационных технологий и методов программирования с учетом богатого опыта реального применения АЭ, приобретенного как специалистами-разработчиками, так и многочисленными пользователями АЭ систем. К характерным особенностям программного обеспечения современных АЭ систем принадлежат:*

*– стандартный интерфейс и чрезвычайно разнообразные графические и функциональные возможности;*

*– оперативная справочная система;*

*– полная совместимость с программным обеспечением Windows, что способствует мощной функции буфера обмена и созданию разнообразных печатных отчетных форм;*

*– поддержка форматов файлов разных АЭ систем, что позволяет осуществлять анализ и обработку полученных АЭ данных разными пакетами программ и проводить сравнительный анализ результатов обработки.*

*Программное обеспечение самых распространенных АЭ систем имеет развитые функции работы с данными. В частности, различные способы фильтрации данных, автоматическое перенесение изменений в параметрах на все виды графиков и таблиц, сортировка любых признаков АЭ сигнала и др. Если первые программные продукты АЭ систем включали лишь базовый набор функций сбора и обработки сигналов АЭ, то с помощью существующего ППО значительно расширяется спектр методов АЭ диагностирования. К ним принадлежат: разнообразные методы локации источников сигналов (линейная, плоскостная, цилиндрическая, сферическая, мультитриплетная, трехмерная, корреляционная локация), алгоритмы ручной и автоматической кластеризации,*





спектрального, кластерного и корреляционного анализов, анализа форм волн и их классификации и др., а также самые современные методы цифровой обработки сигналов АЭ: быстрое преобразование Фурье, вейвлет-анализ, алгоритмы распознавания образов. Обработка АЭ данных может быть осуществлена в режиме реального времени и в режиме постобработки. Программные системы позволяют вести глубокий статистический анализ и накопление данных технического состояния объектов в мониторинговых системах диагностики.

Последующее развитие ППО ориентировано на применение развитых технологий организации обмена данными, обеспечения управления АЭ системами через сети Интранет и Интернет, создание прикладных программных пакетов для технической диагностики конкретного класса объектов и отдельных АЭ технологий.

Развитие теоретических основ и совершенствование методов АЭ диагностирования, которые реализуются в ППО АЭ систем, способствуют более эффективной обработке сигналов АЭ, что, в свою очередь, обеспечивает возможность качественной и точной диагностики и контроля технического состояния тех или иных объектов.

1. Деякі аспекти програмного забезпечення приладів акустичної емісії / В. Скальський, Б. Оліярник, Р. Сулим, Р. Плахтій // Вісник Нац. ун-ту «Львівська політехніка». Автоматика, вимірювання та керування. — 2005. — № 531. — С. 153–158.
2. Пристрої і установки для визначення тріщиностійкості і конструкційних матеріалів методом акустичної емісії / В. Р. Скальський, О. Є. Андрейків, М. В. Лисак та ін. — Львів, 1998. — 56 с. — (Препр./ НАН України. Фіз.-мех. ін-т; № 1/98).
3. Маслов Б. Я., Холькин О. И., Калинов Г. А. Прибор АМУР-6 для обнаружения дефектов с указанием их местоположения // Дефектоскопия. — 1979. — № 12. — С. 5–8.

4. Анисимов В. К. Акустико-эмиссионный прибор АФ-34 и рекомендации по его эксплуатации // Там само. — 1985. — № 5. — С. 40–44.
5. Скальський В. Р., Коваль П. М. Акустична емісія під час руйнування матеріалів, виробів і конструкцій. Методологічні аспекти відбору та обробки інформації. — Львів: Сполом, 2005. — 396 с.
6. Vallen Systeme: The Acoustic Emission Company. — [Virtual Resource]. — Access Mode: URL: <http://www.vallen.de/software/index.html>.
7. Диагностическая аппаратура семейства «ЕМА» // Техн. диагностика и неразр. контроль. — 1994. — № 3. — С. 46–49.
8. MISTRAS 2001. AEDSP-32/16. User's Manual. — Rev. 1. PAC Part Number 6300-1000. — 1995. — 300 p.
9. Скальський В. Р., Пустовий В. М., Бархан А. Портативний накопичувач вибірок сигналів акустичної емісії SVR-6 // Техн. диагностика и неразруш. контроль. — 1999. — № 3. — С. 35–46.
10. Скальський В. Р., Карпунін І. І. Модернізований портативний накопичувач вибірок сигналів акустичної емісії СК-7 // 36. наук. праць ФМІ НАН України «Фізичні методи та засоби контролю середовищ, матеріалів та виробів», Київ–Львів, 2002. — Вип. 7. — С. 77–82.
11. Восьмиканальний портативний прилад акустичної емісії / В. Р. Скальський, Б. О. Оліярник, Р. М. Плахтій, Р. І. Сулим // Вісник «Радіоелектроніка та телекомунікацій». — 2005. — № 1. — С. 23–30.
12. Скальський В. Діагностуємо не руйнуючи // Метали. Технології&Обладнання. — 2009. — № 24. — С. 9.
13. Mistras Group, Inc. — [Virtual Resource]. — Access Mode: URL: <http://www.mistrasgroup.com>.
14. Physical Acoustics Corporation. — [Virtual Resource]. — Access Mode: URL: <http://www.pacndt.com>.
15. Acoustic Emission Testing and Analysis Software. — [Virtual Resource]. — Access Mode: URL: <http://www.pacndt.com/index.aspx?products&focus=Software.htm>.
16. Noesis 5/ Envirocoustics S. A. — [Virtual Resource]. — Access Mode: URL: <http://www.envirocoustics.gr/noesis/noesis.htm>.
17. Дианак. Техническая диагностика. — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: URL: <http://www.diapac.ru/Soft-AE.php>.
18. Vallen Systeme: The Acoustic Emission Company. — [Virtual Resource]. — Access Mode: URL: <http://www.vallen.de>.
19. AGU-Vallen Wavelet/ Vallen Systeme: The Acoustic Emission Company. — [Virtual Resource]. — Access Mode: URL: <http://www.vallen.de/wavelet/index.html>.

Фіз.-мех. ін-т ім. Г. В. Карпенка НАН України,  
Львів

Надійшла до редакції  
19.03.2010

## НОВАЯ КНИГА

**Учебное пособие по ультразвуковому контролю сварных соединений.**  
Троицкий В. А., Попов В. Ю. – Киев, «Видавництво «Феникс», 2010. – 220 с.

Даны элементарные представления о теории и практике ультра звукового контроля (УЗК) преимущественно сварных соединений для специалистов первого и второго уровней квалификации по международным правилам правилам EN-473.

Описаны физические основы, приборы, эталоны, технологические приемы, используемые в практике УЗК. Для самоконтроля приведены вопросы и ответы, почти совпадающие с теми, которые используются для аттестации операторов.

Книга может быть полезна инженерно-техническим работникам, разработчикам проектной документации для ответственных металлоконструкций, а также использована как учебное пособие для начинающих дефектоскопистов.

Контактный тел.: (044) 2872666