

# ОСОБЛИВОСТІ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АКУСТИКО-ЕМІСІЙНИХ ЗАСОБІВ ДІАГНОСТУВАННЯ

(Огляд. Повідомлення 2)

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), «Vallen Systeme» (Німеччина), «Brue&Kjaer» (Данія), ТОВ «ІНТЕРЮНІС» (Росія), а також ППЗ АЕ-апаратури сімейства ЕМА (Інститут електрозварювання ім. Є. О. Патона НАН України), АЕ-комплексу АЕМ (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 applied software for AE diagnostic systems are considered. Comparative analysis of state-of-the-art of applied software of AE means of leading world manufacturers was conducted. Special attention is focused on characterization of functional capabilities of software of such companies, as PAC (USA), Diapac (Russia), Vallen Systeme (Germany), Brue&Kjaer (Denmark), INTERUNIS Company (Russia), as well as applied software of AE instrumentation of EMA family (E.O.Paton Electric Welding Institute of the NAS of Ukraine), AKEM AE system (National Aviation Institute, Ukraine), SKOP family of portable AE-means (G.V.Karpenko Physico-Mechanical Institute of the NAS of Ukraine). Priority directions and tendencies of further development of applied software for AE diagnostic systems are determined.*

**ППЗ компанії «Brue&Kjaer».** У контексті розгляду багатоканальних систем для аналізу сигналів варто згадати про датську компанію «Brue&Kjaer» [1], яка, починаючи із 1940-х років, сьогодні не лише прийшла до світового лідерства у галузі точних інструментів для акустичних та вібраційних вимірювань, але й відіграла провідну роль у розвитку науки про вібрації та акустику. Традиції інновацій продовжуються і сьогодні. На зміну більшості окремих приладів, які традиційно використовувались інженерами, прийшли універсальні вимірювальні прилади на базі багатоканальних мультизадачних аналізаторів спектра серії PULSE. У цих модульних системах вдало поєднані можливості одночасно двох концепцій: потужність сучасного аналізатора, який використовує техніку швидкого перетворення Фур'є, та широкі обчислювальні можливості персонального

комп'ютера. Аналізатори цієї серії можна використовувати не лише для вимірювань параметрів звуку та вібрації, а також для аналізу технічного стану машин, будівельних конструкцій, електроакустичних систем. Частотний діапазон цих аналізаторів становить від 0 до 204,8 кГц. Оскільки згідно методології акустико-емісійного діагностування для САЕ [2] ширина смуги частот обмежується знизу значенням 100 кГц (через сильні шуми пристроїв навантаження на низьких частотах), то прилади серії PULSE можна використовувати і для аналізу АЕ-сигналів, хоча й у дуже малому частотному діапазоні.

Основним вимірювальним програмним забезпеченням системи PULSE є ПЗ PULSE FFT & CPB Analysis (швидке перетворення Фур'є та аналіз при постійній відносній ширині смуги частот (CPB)) [3], постобробку даних здійснює система

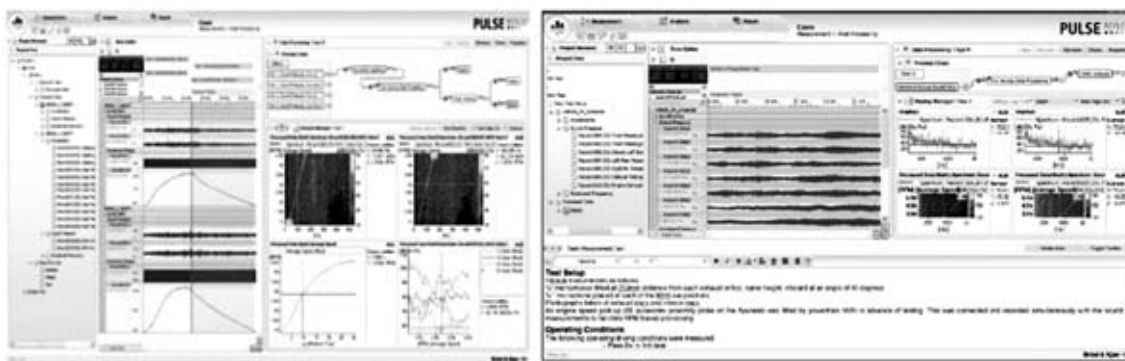


Рис. 1. Постобробка сигналів програмою PULSE Reflex Core

© В. Р. Скальський, О. М. Станкевич, Б. П. Клим, Є. П. Почапський, 2010



PULSE Reflex™. ПЗ PULSE Reflex™ об'єднує низку спеціалізованих програмних інструментів постобробки, призначених для аналізу та обробки даних після виконання вимірювань у часовій та частотній областях. До інструментальних засобів належать: ядро для обробки даних у часових та частотних параметрах (PULSE Reflex Core) (рис.1), яке містить ПЗ PULSE™ LabShop (функції FFT, СРВ-аналізу та порядкового аналізу), а також додатки PULSE Reflex Modal Analysis (модальний аналіз), PULSE Reflex Building Acoustics (аналіз акустики будівель).

ППЗ має предметно-орієнтований та зручний для користувача інтерфейс, розширені функції графічного дисплею та курсора, потужні засоби управління даними (швидка навігація по великих об'ємах даних; швидке фільтрування чи сортування даних для подальшої обробки, наприклад, статистичного аналізу, частотного аналізу чи модальної оцінки параметра), підтримка дистанційного управління роботою та експорту даних (OLE-автоматизація та управління за допомогою функцій ActiveX), вимірювання та результати обробки можуть бути збережені на одній із 15 мов та експортовані у Windows-додатки — Word, Excel або PowerPoint, а також додатки PULSE Reflex, MATLAB тощо.

ППЗ компанії ТОВ «ІНТЕРЮНІС». На теренах Росії з 1988 р. провідне місце у галузі НК посідає компанія ТОВ «ІНТЕРЮНІС» [4], яка працює у різних галузях НК, займається розробленням та виробництвом АЕ обладнання, здійснює експертизу промислової безпеки об'єктів соціальної інфраструктури і обладнання промислових підприємств, проводить наукові дослідження, роз-

робляє і постачає системи комплексного діагностичного моніторингу.

У 1992–1993 рр. було випущено перші багатоканальні АЕ системи — А-Line 8S та А-Line 16S на базі персонального комп'ютера, які поклали початок цілому сімейству багатоканальних АЕ приладів серії А-Line.

Одночасно з виходом перших систем АЕ для них з'явилося і прикладне ПЗ. Перша версія програми включала базовий набір функцій, необхідних для збору і подальшої обробки АЕ даних. Разом із тим фахівці компанії прагнули задовольнити потреби своїх замовників, розширюючи функціональні можливості програмного забезпечення. Завдяки побажанням користувачів постійно розроблялися нові алгоритми обробки і відображення АЕ даних, додавалися нові функції.

На сьогодні компанією «ІНТЕРЮНІС» випущено більше 250 екземплярів АЕ систем серії А-Line і 4 покоління ППЗ. Висока якість і надійність приладів підтверджені сертифікатом стандарту якості ISO 9001.

ППЗ АЕ-систем А-Line 32D. Останнє покоління приладів серії А-Line представлене АЕ системами сімейства А-Line 32D. Програмне забезпечення цих систем реалізоване в середовищах Windows 9x/XP і має широкі можливості разом із простотою використання. ППЗ систем А-Line має зручний та добре знайомий користувачу інтерфейс, можливість використання стандартних засобів Windows для індивідуальної обробки результатів (рис. 2). Воно може бути перекладене будь-якою мовою (зараз доступні англійська і російська версії), забезпечує простоту, легкість

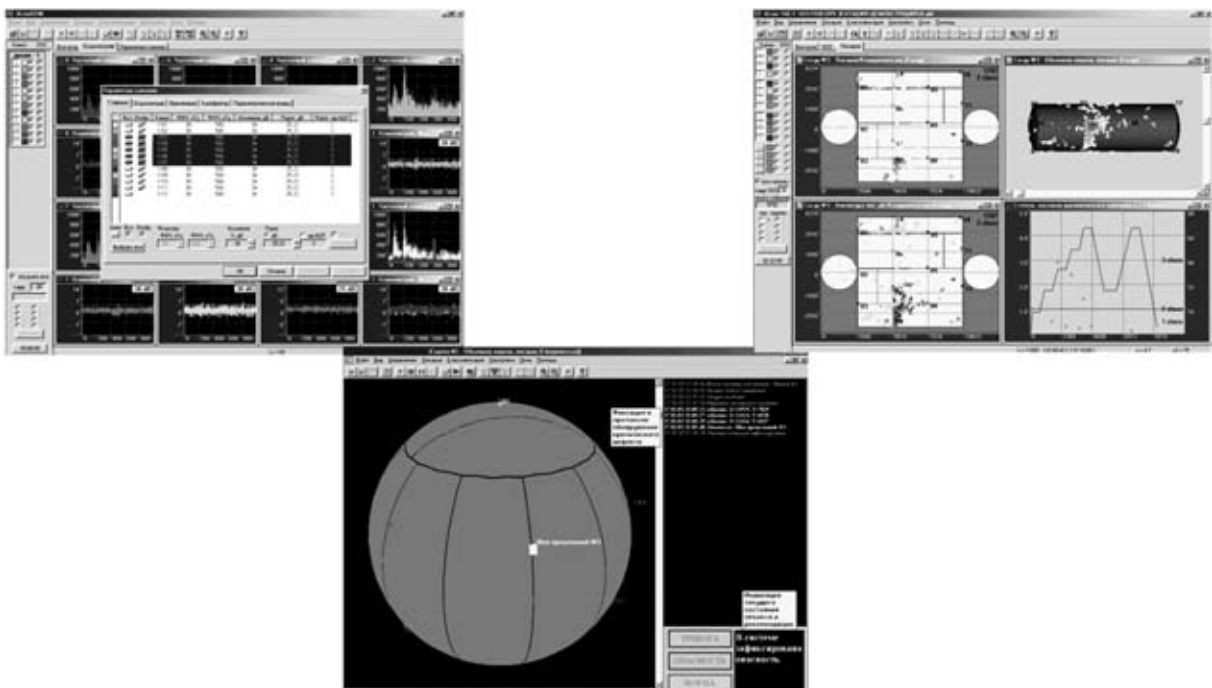


Рис. 2. Форми відображення АЕ-даних та результатів їх обробки у системах серії А-Line 32D



налаштування і управління системою разом з широкими можливостями зміни режимів роботи і характеристик комплексу, має зручне меню для встановлення параметрів графічного і текстового відображення.

За допомогою даного пакету програм можна виконати наступні функції обробки АЕ сигналів: класифікувати джерела АЕ за ступенем небезпеки в термінах амплітудного, локально-динамічного і інтегрального критеріїв; провести локацію дефектів (лінійну і планарну, зонну і об'ємну, на циліндричних і сферичних поверхнях, днищах резервуарів); обчислити координати, вибравши один із методів — за різницею у часі приходу або досягнення максимуму сигналу, триангуляційний або ректангуляційний із можливістю підбору швидкості; виконати кластеризацію об'єкту за кількістю АЕ подій і за розрахунковою амплітудою джерела АЕ, що забезпечує наочність ступеня небезпеки і дозволяє оцінити розмір дефекту; побудувати графіки залежностей будь-яких параметрів АЕ сигналів один від одного, часу, координат локації і даних параметричних каналів, а також гістограми розподілу кількості подій за будь-яким із параметрів АЕ сигналу. Програмний пакет включає вбудовані утиліти вимірювання швидкості АЕ сигналів і заникання в середовищі; спектрального аналізу частотних складових як всього АЕ сигналу, так і окремих його частин; проведення кластерного аналізу за заданими характеристиками форми сигналів або частотних областей спектру. ППЗ містить кореляційний аналіз АЕ сигналів і їх спектрів. Однією із особливостей пропонованого «ІНТЕРЮНІС» програмного пакету є наявність конвертора осцилограм сигналів АЕ у файл звукового формату WAV із різною частотою дискретизації, а також окремого модуля ПЗ для моніторингової системи неперервного спостереження з багаторівневою ієрархією доступу до налаштувань і результатів роботи комплексу у залежності від статусу оператора. Програмний модуль дозволяє вести глибоку статистичну обробку і накопичення баз даних із технічного стану

об'єкта. Водночас, багатofакторний комплексний аналіз даних, що надходять із сенсорних вузлів різного типу, дозволяє звести до мінімуму вплив людського фактору на оцінку результатів діагностичного моніторингу. Програма веде детальний протокол роботи системи та дій персоналу, у випадку виникнення небезпечної ситуації система включає сигнали звукової та світлової тривоги, вказує місцезнаходження та тип можливого пошкодження, видає рекомендації з дій персоналу та уживає інші передбачені кроки з попередження аварії.

Серед останніх новинок функціональних можливостей вказаного ПЗ зазначимо наступні: новий метод нечіткої локації джерел АЕ сенсорною антеною довільної форми на поверхнях тонкостінних ємностей; новий інформаційний статистичний критерій для поділу АЕ джерел за типом; метод оцінки відстані від первинного перетворювача (ПП) до передбачуваного джерела на основі вейвлет-аналізу АЕ імпульсу з врахуванням частотних залежностей групових швидкостей хвиль Лемба [5].

**ППЗ АЕ систем серії «МАЛАХІТ».** Понад 30 років на ринку АЕ приладів і систем працює ЗАТ «НВФ «ДІАТОН» (Росія) [6]. Його колектив пройшов шлях від розробки аналогових приладів та перших у СРСР АЕ систем на базі міні ЕОМ до створення і випуску сучасних цифрових приладів та багатоканальних систем АЕ діагностування промислових об'єктів (магістральних і технологічних трубопроводів, балонів, судин, що перебувають під тиском, ємнісного, колонного, реакторного обладнання, резервуарів нафтопродуктів, вантажопідйомного обладнання тощо). На сучасному етапі підприємство пропонує наступні типи АЕ систем серії Малахит: Малахит АС-12А/АС-14А/АС-15А. Особливість нового покоління АЕ систем полягає у наявності великого динамічного діапазону реєстрації каналів, застосуванні у вимірювальних каналах високопродуктивних цифрових сигнальних процесорів для обробки і реєстрації параметрів сигналів АЕ та мож-

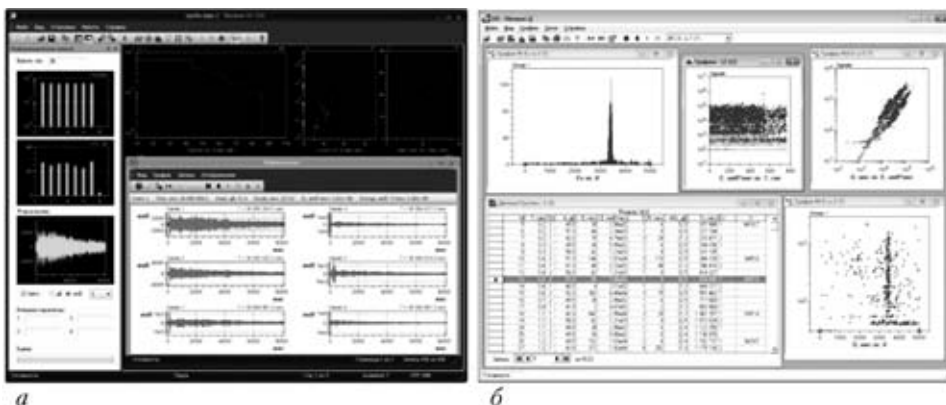


Рис. 3. Способи відображення АЕ даних: а — програма Малахит АС-15А з вікном форми хвилі; б — вікна з графіками і таблицями даних програми Малахит-Д



ливості широкого вибору конфігурацій систем для контролю об'єктів (комплектація чутливими ПП — інтегральними, герметичними, вибухозахищеними, із режимом автотестування).

**ППЗ АЕ Studio.** Основу ППЗ АЕ систем Малахіт складає програмний пакет АЕ Studio, сумісний із ОС Windows XP/Vista/7. Усі програми пакету мають єдину довідкову систему. Пакет АЕ Studio виконує функції управління системою, збір та аналіз даних при АЕ діагностуванні будь-яких об'єктів. Серед функціональних можливостей даного ППЗ зазначимо наступні: багатівіконний інтерфейс для табличного та графічного відображення даних (у режимі реального часу до 3000 графіків); кольорове кодування даних; вибір кольорової палітри; накладання на графіки кривої навантаження; стандартні набори графіків; карта (розгортка) об'єкта; автоматичне масштабування; фільтрація даних за будь-яким параметром із ручним і графічним (за допомогою мишки) заданням фільтрів, складні фільтри; здійснення різних типів локації (зонна, лінійна, прямокутна сітка, трикутна сітка, днище, довільне розташування первинних перетворювачів, локація в умовах великої швидкості реєстрації даних із врахуванням зникання); кластеризація та атоматичне визначення характеристик кластерів; статистична обробка даних; спектральний аналіз форм сигналів; класифікація джерел АЕ за амплітудним та інтегральним критеріями (в АЕ системі Малахіт АС-15А). До інструментальних засобів АЕ Studio належать: Малахіт — основна програма збору та обробки даних АЕ систем серії Малахіт, Малахіт-Ф — програма реєстрації і спектрального аналізу форми АЕ сигналів, Малахіт-Д — програма для роботи з базою даних АЕ сигналів (рис. 3). Серед особливостей програми Малахіт-Д варто зазначити наступні: можливість обробки даних, отриманих при використанні різних АЕ засобів; доступ до потужних і гнучких засобів сортування, пошуку і фільтрації даних засобами Microsoft Jet Database Engine; можливість використання для розширеної обробки АЕ даних і генерації звітів систем управління базами даних, електронних таблиць, текстових процесорів та інших програмних продуктів, що підтримують формат MS Access; для даних системи Малахіт АС-15А можна експортувати форму хвилі вибраного сигналу у текстовий файл для наступної обробки спеціалізованими програмами.

**ППЗ Корал.** Корал — комплексна програма обробки результатів діагностування лінійних об'єктів (наприклад, магістральних нафто- та газопроводів тощо). Дозволяє здійснити кореляційну обробку та фільтрацію даних, пошук та видалення електромагнітних завад, локацію джерел АЕ сигналів із врахуванням всіх реальних поєднань сигналів та їх зникання, автоматичну

кластеризацію із визначенням характеристик кластерів.

**ППЗ Буря.** Буря — пакет програм для комплексної, детальної обробки АЕ інформації, отриманої у результаті контролю промислових об'єктів, із метою підвищення достовірності виявлення джерел АЕ. Використовується алгоритм автоматичного аналізу всіх поєднань часу приходу зареєстрованих АЕ сигналів, а також визначення кількості каналів, що формують подію, для її ранжування з врахуванням функції зникання сигналів. Пакет складають програми:

**Днище** — для обробки даних АЕ діагностування плоских днищ круглої форми, на яких немає можливості встановити ПП АЕ. Особливістю програми є можливість використання додаткових ПП, які встановлюються на стінки резервуару, для фільтрації АЕ подій з днища від подій, що відбулись у верхній частині об'єму об'єкта контролю.

**Сфера** — для обробки даних АЕ контролю сферичних об'єктів. Включає окрему програму Сфера-Д, необхідну для рисування карти об'єкта і створення файлу координат розташування ПП на сферичній поверхні з впорядкованою таблицею відстаней між приймачами.

**Циліндр** — програма обробки даних АЕ контролю циліндричних об'єктів (цистерн, колон тощо). Для рисування карти об'єкта і створення файлу координат розташування ПП на циліндричній поверхні з впорядкованою таблицею відстаней між приймачами слугує окрема програма Циліндр-Д.

Запропоновані у програмному пакеті Буря алгоритми особливо ефективні при обробці даних, отриманих багатоканальними АЕ системами, що працюють в умовах підвищеної інтенсивності сигналів, наявності акустичних шумів і електромагнітних завад.

Програми ППЗ Буря адаптовані до універсального програмного забезпечення АЕ систем серії Малахіт і систем фірми РАС (США).

**ППЗ АЕ апаратури сімейства ЕМА.** Роботи зі створення АЕ систем сімейства ЕМА розпочались у 1982 р. зусиллями Інституту електрозварювання ім. Е. О. Патона НАН України [7] та угорської фірми «Відеотон». У 1996 р. із врахуванням нових вимог до систем технічної діагностики та розвинених можливостей інформаційних технологій було розроблено системи серії ЕМА-3 [8, 9] — експертні системи технічної діагностики навантажених виробів, агрегатів і конструкцій усіх галузей промисловості. Дані АЕ системи дозволяють керувати діагностичною апаратурою; здійснювати у режимі оперативного контролю або неперервного моніторингу автоматизовані вимірювання, збір, обробку і зберігання діагностичної інформації; визначати координати дефектів, схильних до розвитку; прогнозувати руйнівне на-

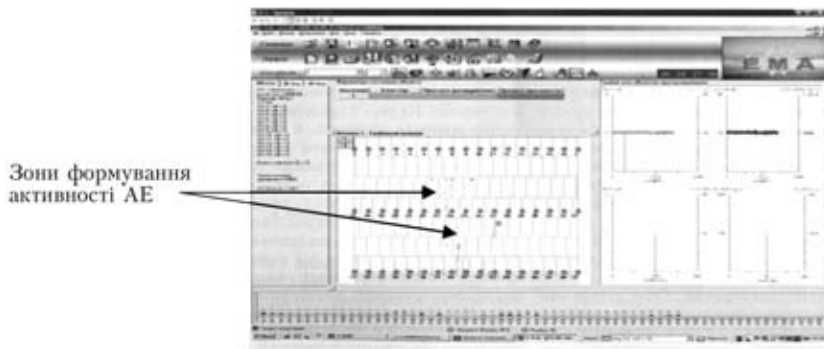


Рис. 4. Вікно програми EMA-3S під час випробувань на ОПЗ

вантаження на початкових етапах експлуатації виробу, агрегата чи конструкції; виконувати розрахунок залишкового ресурсу об'єкта контролю та встановлювати регламент його подальшої можливої експлуатації.

Основою розробки програмного забезпечення систем EMA-3 є: ОС Windows XP, .Net Server; архітектура, інтегрована з мережею Інтернет та можливість використання протоколу TCP/IP; модульна побудова, що дозволяє модифікувати частини програми незалежно; інтеграція з програмами пакету Microsoft Office; універсалізація програми, можливість її використання у пересувних та в моніторингових системах діагностики; орієнтація на управління засобами мережі та через Інтернет; використання технології XML в організації обміну даними. Важливою відмінністю та досягненням систем EMA-3 є розв'язання важливої для промисловості задачі, а саме автоматична відповідь на низку питань: наскільки небезпечний стан конструкції у даний момент; при якому навантаженні зруйнується конструкція у даних умовах експлуатації; який її залишковий ресурс. Основою для інтелектуальних алгоритмів оцінки стану конструкцій слугує розпізнавання образів, яке реалізується у даних системах наступним чином: у процесі роботи система формує Вектор Стану Матеріалу, координати якого складають характеристики процесу випробування; періодично відбувається порівняння вектора з еталоном, що відповідає різним стадіям руйнування; при співпадінні (із необхідним ступенем імовірності) поточного значення вектора з одним із етalonів руйнування система генерує попередження відповідного рівня й одночасно розраховує прогноз руйнівного навантаження при поточних умовах; на основі отриманих даних система розраховує залишковий ресурс об'єкта контролю. Прогноз руйнівного навантаження визначається з точністю  $\pm 15\%$ . Додатково під час випробувань система показує найнебезпечніше місце, де формується руйнування, на схемі об'єкта контролю. Сьогодні на ринку АЕ засобів НК пропонуються наступні системи: EMA-3Б, EMA-3Р, EMA-3У, EMA-3М [10], EMA-3S [11]. ППЗ базової системи

EMA-3Б включає програми для проведення АЕ випробувань та побудови таблиць і графіків, майстер звітів. EMA-3Р — розширена система EMA-3Б+ППЗ із додатковими компонентами: програми для роботи з базою даних та контролю рухомих деталей і вузлів агрегатів, програма для перетворення файлів EMA-2 у формат EMA-3. Універсальну систему EMA-3У складає розширений пакет EMA-3Р+ППЗ із до-

додатковими компонентами: програма прогнозування руйнівного навантаження та попередження про небезпеку, розрахунок залишкового ресурсу, програма математичної генерації тестових сигналів АЕ, програма проведення випробувань у режимі неперервного моніторингу. І нарешті, мережева система EMA-3М, побудована на основі EMA-3У із додатковою програмою керування робочими станціями у мережі (розробляється під конкретне замовлення) та можливістю роботи у локальній мережі і виходом в Інтернет. На базі системи EMA-3М створено систему неперервного моніторингу матеріалів конструкцій. Перша частина цієї системи EMA-3S (стаціонарна система неперервного моніторингу) (рис. 4) виготовлена на замовлення Одеського припортового заводу (ОПЗ) у 2003 р. Як зазначають автори у праці [9], завдяки функціональним можливостям системи технічна діагностика перетворюється в автоматизований процес, коли одним натискуванням на кнопку у будь-який час можна дізнатись про стан тієї чи іншої конструкції.

До розробок нового покоління у галузі АЕ технології належать чотириканальний АЕ прилад ГАЛС1 та модифікований прилад EMA-4 [12] для випробування труб внутрішнім тиском. До нових технологічних можливостей цих засобів належать: можливість обробки форм сигналів АЕ у реальному часі, розширені параметри налаштування, які сприяють кращій фільтрації хибних сигналів АЕ та ефективнішій обробці корисних. У програмне забезпечення цих приладів упроваджено спеціальний механізм стикування різних типів даних, який усунув проблеми із несумісністю даних. Прилади успішно пройшли тестування, за результатами якого для подальшого використання при пошуку координат джерел АЕ був вибраний метод прямого пошуку (дає найменші похибки) та для оцінки похибок розрахунок координат джерел АЕ розроблено метод з використанням кольорової схеми.

**ППЗ АЕ комплексу АКЕМ.** Серед відомих вітчизняних розробок АЕ засобів варто розглянути комплекс АКЕМ [13], створений фахівцями Національного авіаційного університету [14] (м.

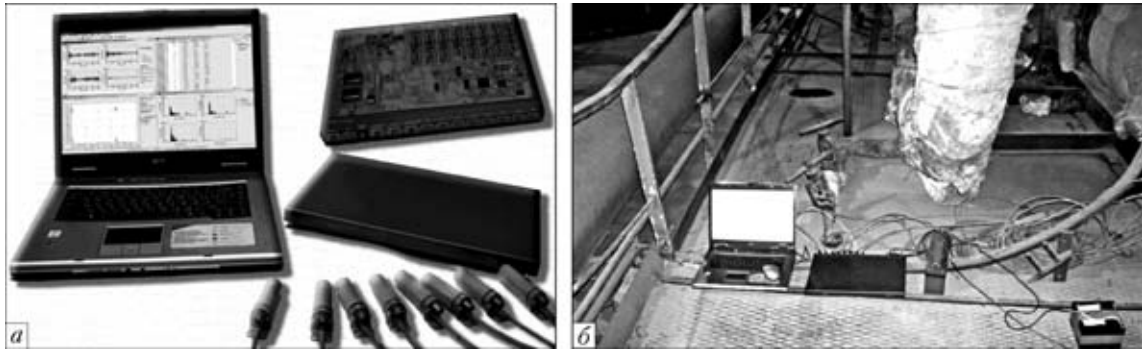


Рис. 5. Система АЕ діагностики SKOP-8: а — загальний вигляд; б — під час випробувань

Київ). У запропонованому підході побудови АЕ систем здійснюється розподіл функцій за призначенням та роботою пристроїв. До них належать: виконання вимірювань і передача даних, а також збереження даних, їх обробка, представлення і виведення результатів аналізу у вигляді залежностей зміни параметрів із використанням математичних і графічних додатків Windows, контроль та управління усіма процесами. Перше завдання розв'язується завдяки використанню засобів технології «PCLabcard» — портів вводу-виводу аналогової та цифрової інформації, друге — із використанням ПК. ППЗ даних систем має модульну архітектуру (модуль управління; операції формування та контролю стану системи; операції управління вимірюваннями, обробки, виводу і представлення результатів аналізу; сервісні операції; операції калібрування; модуль обробки параметрів сигналів та імпульсних потоків АЕ тощо). Багатовіконна структура екранного інтерфейсу забезпечує максимальні зручності користувачу у виконанні різноманітних операцій і наочність представлення результатів роботи як окремих модулів, так і всього пакету прикладних програм. Розроблене ППЗ дозволяє аналізувати інформацію, записану на фізичному рівні, формувати масиви із збереженням на логічному рівні, виводити і представляти результати аналізу у вигляді карт розподілу джерел випромінювання у вибраній координатній сітці, у двовимірному чи тривимірному представленні. Завдяки гнучкому програмному управлінню процесом вимірювань та обробки сигналів швидкості та прискорення коливань можна отримати широкий набір параметрів, що характеризують динамічну поведінку об'єкта контролю, зокрема, частоту коливань, загасання, логарифмічний декремент загасання, коефіцієнт механічних втрат, динамічне зміщення, швидкість, прискорення, добротність тощо. Параметри визначаються за одним-трьма каналами реєстрації інформації.

**ППЗ сімейства портативних АЕ засобів SKOP.** Як зазначалась вище, в Україні одне із провідних місць серед розробників методик АЕ діагностування та портативних вимірювальних

систем посідає Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України. Сучасний етап розвитку АЕ систем характеризується створенням малогабаритних, мобільних і максимально простих в експлуатації приладів накопичення вибірок сигналів АЕ, які б дозволяли виконувати технічну діагностику та неруйнівний контроль об'єктів у польових умовах або за ускладненого доступу до місця контролю (мости, висотні конструкції, крани, ділянки трубопроводів тощо). Саме таку мету ставили перед собою розробники портативної восьмиканальної вимірювальної АЕ системи SKOP-8 [15] (рис. 5).

Система забезпечує виділення, реєстрацію та попередню обробку сигналів АЕ (САЕ) з подальшим збереженням їх в пам'яті персонального комп'ютера типу Notebook для необхідної обробки отриманих даних, їх візуалізацію в реальному масштабі часу тощо. Звичайний багатовіконний і багатосторінковий інтерфейс для графічного і текстового представлення отриманих даних у реальному часі та в постобробці і зручна довідкова система дають змогу користувачу швидко засвоїти навички роботи з АЕ системою. Користувачу надаються можливості програмного управління вимірюваннями (вибір кількості робочих каналів, вибір часу тривалості вибірки, задання необхідного підсилення каналів, порогу рівня шуму та смуги пропускання, параметрів об'єкта контролю тощо). За допомогою розробленого програмного забезпечення передбачено визначення координат джерел САЕ з графічним їх відображенням на моніторі у співвідношенні із зображенням розгортки об'єкта контролю і відтворення хвильового відображення події АЕ. Прилад реєструє такі характеристики САЕ: хвильове відображення сигналу, амплітуду огинаючої, сумарний рахунок, суму амплітуд, швидкість рахунку, час наростання фронту імпульсу, його тривалість, спектр частот тощо. Похибка визначення координат джерела АЕ, залежно від умов тестування об'єкта контролю, не перевищує 10 %. У режимі постобробки можна побудувати графіки хвильового відображення, спектрального та амплітудного розподілу, зникання хвилі, параметричних каналів, а також

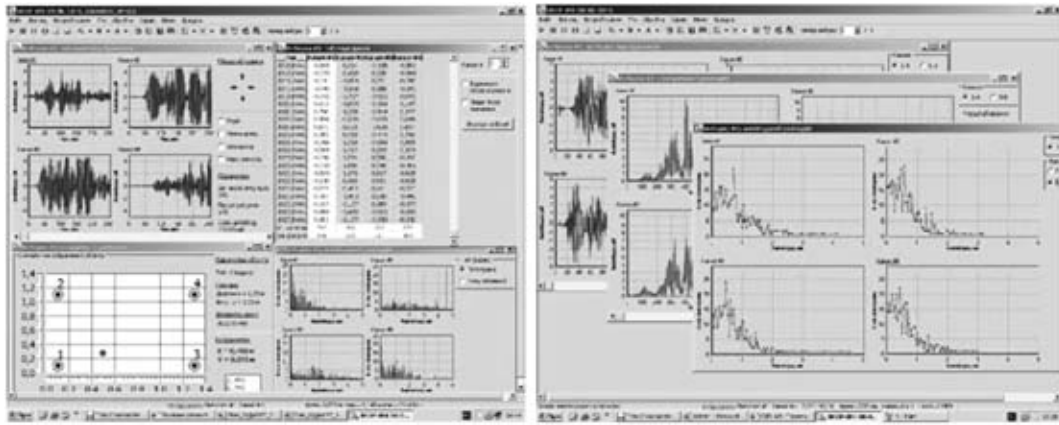


Рис. 6. Форми представлення обробки сигналів АЕ системою SKOP-8

локалізацію джерела за всіма вибірками або за точною вибіркою. Передбачено вибір користувачем варіанту графічного представлення АЕ даних через вибір каналів; масштабування; відображення на графіку порогу рівня шуму, огинаючої, максимального значення сигналу; типу графіка (гістограма чи кумулятивний) тощо (рис. 6). Програма має розвинені функції друку звітів, експорт АЕ даних у Windows-додатки (Word, Excel). Окрім того, дане ПЗ має також функції цифрової обробки сигналів, що включають одержання коефіцієнтів Фур'є, амплітудної та фазової характеристик.

**Засоби програмування АЕ методів.** Для програмної реалізації АЕ методів технічного діагностування у середовищі Windows спочатку використовувались мови програмування високого рівня (переважно Borland C++ for Windows). На даний час лідерство перехопили засоби візуального проектування та об'єктно-орієнтованого програмування подій, такі як Microsoft Visual Basic (мова програмування Visual Basic) та Borland Delphi (мова програмування Object Pascal). Обидва програмні продукти мають зручний візуальний інтерфейс і звільнили програмістів від багатьох зайвих зусиль. Однак Borland Delphi вийшла на перше місце серед засобів програмної реалізації АЕ методів, маючи ряд суттєвих переваг: можливість використання та створення DDL-бібліотек (Dynamic Link Library) та спеціальних елементів управління (таких як ActiveX) для нарощування функціональних можливостей; можливість реагування на будь-які події, що виникають у Windows; повна компіляція програм у машинний код, зрозумілий комп'ютеру, що сприяє високій швидкодії програмних продуктів.

## Висновки

Проведений порівняльний аналіз існуючого програмного забезпечення АЕ засобів дозволяє зробити висновок про те, що паралельно із розробкою нових поколінь АЕ систем вдосконалюється і їх програмне забезпечення, виконане на базі сучасних досягнень у галузі інформаційних технологій і

методів програмування з урахуванням багатого досвіду реального застосування АЕ, набутого як фахівцями-розробниками, так і багаточисленними користувачами АЕ систем. До характерних особливостей програмного забезпечення сучасних АЕ систем належать:

- стандартний інтерфейс та надзвичайно різноманітні графічні та функціональні можливості;
- оперативна довідкова система;
- повна сумісність з усім програмним забезпеченням Windows, що сприяє потужній функції буфера обміну та отриманню різноманітних друкованих звітних форм;
- підтримка форматів файлів різних АЕ систем, що дозволяє здійснювати аналіз та обробку отриманих АЕ даних різними пакетами програм та проводити порівняльний аналіз результатів обробки.

Програмне забезпечення найпоширеніших АЕ систем має розвинені функції роботи з даними. Зокрема, різні способи фільтрації даних (за допомогою логічних операцій або графічним способом, використання складних фільтрів), автоматичне перенесення змін у параметрах на всі види графіків та таблиць, сортування будь-яких ознак АЕ сигналу тощо. Якщо перші програмні продукти АЕ систем включали лише базовий набір функцій збору і обробки сигналів АЕ, то за допомогою існуючого ППЗ значно розширюється спектр методів АЕ діагностування. До них належать: різноманітні методи локації джерел сигналів (лінійна, планарна, циліндрична, сферична, мультитриплетна, тривимірна, кореляційна локація), алгоритми автоматичної кластеризації (максимінна відстань, К-середнє, нейронні мережі та ін.) та ручного групування у кластери, спектрального, кластерного та кореляційного аналізів, аналізу форм хвиль та їх класифікації тощо, а також найсучасніші методи обробки сигналів АЕ: швидке перетворення Фур'є, вейвлет-аналіз, алгоритми розпізнавання образів. Обробка АЕ даних може бути здійснена як в реальному часі, так і в режимі постобробки. Програмні пакети дозволяють вести глибоку статистичну обробку і накопичення да-



них технічного стану об'єктів у моніторингових системах діагностики.

Подальший розвиток ППЗ орієнтований на застосування розвинених технологій організації обміну даними, забезпечення управління АЕ системами через мережі Інтранет та Інтернет, створення прикладних програмних пакетів для технічної діагностики конкретного класу об'єктів та окремих АЕ технологій.

Розвиток теоретичних основ та вдосконалення методів АЕ діагностування, які реалізуються у прикладному програмному забезпеченні АЕ систем, сприяють найефективнішій обробці сигналів АЕ, що у свою чергу забезпечує можливість більш якісної та точної діагностики та контролю технічного стану тих чи інших об'єктів.

1. *Bruel&Kjaer*. — [Virtual Resource]. — Access Mode: URL: <http://bksv.com>.
2. *Назарчук З. Т., Скальський В. Р.* Акустико-емісійне діагностування елементів конструкцій: Наук.-техн. посіб.: У 3-х т. — Т. 2: Методологія акустико-емісійного діагностування. — Київ: Наук. думка, 2009. — 263 с.
3. *Информация о системе / АСМ тесты и измерения*. — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: URL: <http://bruel.ru/UserFiles/File/3560SW.pdf>.
4. *IU ИНТЕРЮНИС*. Системы промышленного мониторинга. — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: URL: <http://www.interunis.ru>.
5. *Елизаров С. В., Букатин А. В., Ростовцев М. Ю., Терентьев Д. А.* Новинки программного обеспечения АЭ систем семейства А-Line. — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: URL: <http://www.interunis.ru/publikacii/statya21>.
6. *Акустическая эмиссия*, НПФ Диатон. — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: URL: <http://www.diaton-test.ru/index.htm>.
7. *Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины*. — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: URL: <http://www.paton.kiev.ua>.
8. *Недосека С. А., Недосека А. Я.* Диагностические системы семейства «ЕМА». Основные принципы и особенности архитектуры (Обзор) // Техн. диагностика и неразруш. контроль. — 2005. — № 3. — С. 20–25.
9. *Недосека С. А., Недосека А. Я.* Акустическая эмиссия и ресурс конструкций // Там же. — 2008. — № 2. — С. 5–19.
10. *Автоматизированные экспертные системы технической диагностики нагруженных изделий, агрегатов и конструкций* // Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины. — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: URL: <http://www.paton.kiev.ua/ru/razrabotki-ies/prodlenie-resursa/tehnikeskaya-diaagnostika/879-akusticheskaja-jemissija>.
11. *Применение АЭ технологии при непрерывном мониторинге оборудования Одесского припортового завода / А. Я. Недосека, С. А. Недосека, М. А. Яременко та ін.* // Техн. диагностика и неразруш. контроль. — 2008. — № 4. — С. 85–95.
12. *Дослідження приладів для акустико-емісійного контролю та діагностування зварних конструкцій / А. Я. Недосека, С. А. Недосека, А. А. Грузд та ін.* // Проблеми ресурсу і безпеки експлуатації конструкцій, споруд та машин: Зб. наук. стат. за результатами, отриманими 2007–2009 рр. — Київ, 2009. — С. 118–122.
13. *Филоненко С. Ф.* Акустическая эмиссия. Измерение, контроль, диагностика. — Киев: КМУГА, 1999. — 312 с.
14. *Національний авіаційний університет*. — [Електронний ресурс]. — Засіб доступу: URL: <http://www.nau.edu.ua/uk/Science/GotoviRozrobky/AcousticEmission/>.
15. *Назарчук З. Т., Скальський В. Р.* Акустико-емісійне діагностування елементів конструкцій: Наук.-техн. посіб.: У 3-х т. — Т. 3: Засоби та застосування методів акустичної емісії. — Київ: Наук. думка, 2009. — 326 с.

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

Надійшла до редакції  
25.03.2010

**NDTMS 2011**  
**ISTANBUL**

**NDTMS 2011 - МЕЖДУНАРОДНЫЙ СИМПОЗИУМ  
ПО НЕРАЗРУШАЮЩЕМУ КОНТРОЛЮ  
МАТЕРИАЛОВ И СТРУКТУР**

**Время проведения:** 15.05.2011 - 18.05.2011  
**Место проведения:** Турция, Стамбул  
**Темы:** Неразрушающий контроль NDT  
**Организатор:** Стамбульский технический университет

**Темы симпозиума:**

- Методы NDT для определения характеристик материалов и структур
- Общие методы NDT, современное состояние, последние разработки, использование комбинированных методов NDT, датчики и приборы, измерения, обработка сигнала, технологии моделирования и обработки изображений
- NDT для определения характеристик материалов и структур
- Измерения и количественные характеристики свойств материалов, включая цементные, металлические и композитные
- NDT для гражданских объектов инфраструктуры. Обнаружение и оценка повреждений, оценка состояния и срока службы, изучение примеров оценки объектов инфраструктуры (зданий, мостов, дамб, туннелей, фундаментов, труб и пр.)
- NDT для оценки бетона. Существующие и разрабатываемые методы оценки свойств бетона
- Мониторинг состояния структур. Методы постоянного мониторинга структур, технологии дистанционного контроля, беспроводной NDT
- NDT и оценка исторических зданий и сооружений
- Оценка и мониторинг состояния памятников истории и их оснований