

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Факультет електроніки

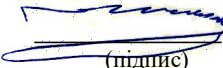
(повна назва інституту/факультету)

Кафедра акустичних та мультимедійних електронних систем

(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

 Сергій НАЙДА
(підпис) (ініціали, прізвище)

“_07_” ____06____2021 р.

Дипломна робота
на здобуття ступеня бакалавр

зі спеціальності (спеціалізації) 171 Електроніка
(код та назва спеціальності)

на тему: Сучасне застосування методу акустичної емісії в задачах неруйнівного контролю

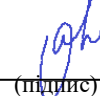
Виконав: студент IV курсу, групи ДГ-72
(шифр групи)

Сапак Назарій Сергійович
(прізвище, ім'я, по батькові)



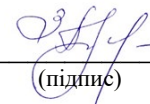
(підпис)

Керівник доцент кафедри АМЕС, к.т.н., Оксана ГАРМАШ
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)



(підпис)

Рецензент ст.викл. кафедри ЕПС, Заграничний А.В
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)



(підпис)

Засвідчую, що у цій дипломній роботі
немає запозичень з праць інших авторів
без відповідних посилань.

Студент  Н.С. Сапак
(підпис)

Київ – 2021

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»**

Факультет _____ Електроніки
(повна назва)

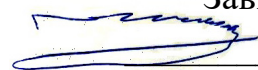
Кафедра Акустичних та мультимедійних електронних систем
(повна назва)

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність (спеціалізація) 171 Електроніка
(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри



С.А.Найда

(підпис)

(ініціали, прізвище)

“ 07 ” 06 2021 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломну роботу студенту

Сапаку Назарію Сергійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Сучасне застосування методу акустичної емісії в задачах
неруйнівного контролю

Керівник роботи: Гармаш Оксана Вікторівна, к.т.н.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «24» 05 2021 р. №
1316-с

2. Строк подання студентом роботи: 05 червня 2021 року

3. Вихідні дані: літературні джерела інформації явища акустичної емісії,
літературні джерела інформації сигналів акустичної емісії, літературні джерела
інформації та застосування акустично-емісійних систем

4. Зміст роботи: основні положення методу акустичної емісії; аналіз
інформативних характеристик сигналів акустичної емісії; принципи побудови
акустико емісійних систем.

5. Перелік завдань, які потрібно зробити:

- проаналізувати джерела виникнення сигналів акустичної емісії та основні основні інформативні параметри сигналів;
- проаналізувати модель сигналів акустичної емісії, закони розподілів та спектральні характеристики сигналів акустичної емісії;
- проаналізувати роботу типового виявляча сигналів акустичної емісії та сучасних акустико-емісійних систем.

6. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо): презентація в Powerpoint.

7. Дата видачі завдання 01.12.2020 року

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Збір та вивчення джерел інформації для написання дипломної роботи, складання бібліографії наукових джерел	1.02.2021р-1.03.2021р	Виконано
2	Підготовка та написання першого другого та третього розділів	1.03.2021р-1.04.2021р	Виконано
3	Написання анотації вступу та висновків	1.04.2021р-20.04.2021р	Виконано
4	Виправлення зауважень та оформлення роботи	20.04.2021р-1.06.2021р	Виконано
5	Захист дипломної роботи	18.06.2021р	

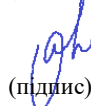
Студент


(підпис)

Н.С. Сапак

(ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації


(підпис)

О.В. Гармаш

(ініціали, прізвище)

АНОТАЦІЯ

Метою роботи є аналіз та дослідження сучасного застосування методу акустичної емісії в задачах неруйнівного контролю.

У роботі розглядаються теоретичні та практичні застосування методу акустичної емісії. Проаналізовано основні інформативні параметри сигналів. Проведено порівняння особливостей побудови типових виявлячів сигналів акустичної емісії.

Пояснювальна записка складається зі вступу, трьох розділів, висновку, списку використаних джерел; містить 59 сторінок, 16 рисунків. Список використаних джерел включає 21 бібліографічних найменувань.

Ключові слова: акустична емісія, неруйнівний контроль, об'єкт контролю, перетворювач акустичної емісії, сигнал.

ABSTRACT

The aim of the work is to analyze and study the current application method of acoustic emission in non-destructive testing.

The paper considers theoretical and practical applications of the method of acoustic emission. The main informative parameters of signals are analyzed. A comparison of the features of the construction of typical detectors of acoustic emission signals is made.

The explanatory note consists of an introduction, three sections, a conclusion, a list of sources used; contains 59 pages, 16 figures. The list of used sources includes 21 bibliographic names.

Keywords: acoustic emission, non-destructive testing, object of control, acoustic emission transducer, signal.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	7
ВСТУП	8
РОЗДІЛ 1. ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ МЕТОДУ АЕ	10
1.1. Суть методу АЕ та його місце в задачах НК	10
1.2. Джерела виникнення сигналів акустичної емісії	15
1.3. Основні типові інформативні параметри сигналів АЕ	22
Висновки до розділу 1	25
РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ІНФОРМАТИВНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СИГНАЛІВ АЕ	27
2.1. Модель сигналів акустичної емісії	27
2.2. Закони розподілу сигналів АЕ	30
Висновки до розділу 2	33
РОЗДІЛ 3. ПРИНЦИП ПОБУДОВИ АКУСТИКО-ЕМІСІЙНИХ СИСТЕМ	35
3.1. Типовий виявляч сигналів акустичної емісії (пороговий виявляч)	35
3.2. Аналіз сучасних акустико емісійних систем	44
Висновки до розділу 3	58
ВИСНОВКИ	60
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	62

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

НК – неруйнівний контроль;

АЕ – акустична емісія;

ПАЕ – перетворювач акустичної емісії;

ОК – об'єкт контролю;

ВСТУП

У сучасному світі дуже важливо роль відіграє різного роду технології, які пов'язані із акустичними методами дослідження. Тому що, вони мають великий діапазон застосування, від дослідження глибин, до знаходження мікро-тріщини у металі та інших виробках. Тому сучасне застосування методів акустичної емісії у задача неруйнівного контролю, що є темою даної роботи і дослідження, є дуже актуальною.

Підчас діагностики різного роду приладів та техніки, а точніше технічних об'єктів у процесі їх використання і експлуатації відіграє дуже важливу роль такі методи неруйнівного контролю, а саме метод акустичної емісії, який стоїть на основах вимірів та аналізу характеристик дослідженого матеріалу, точніше кажучи сигналів які мають акустично-емісійну направлення. Опрацювання та обробка, щоб можна було завдяки цим метода отримати дані, відбувається завдяки основі даної системи, тобто класифікації потрібних джерел, які відносяться до акустичної емісії та сформованих відповідних критеріїв для створення оцінки висновків такого рожу контролю. Для того щоб оцінити процеси, які призводять до руйнування конструкцій, які відбувається підчас виконання акустичних емісійних контролів, на даний момент у сучасному світі використовується методологія, яка заснована на аналізі сигналів акустичної емісії. А саме їх амплітудній, інтегральній, локально-динамічній, інтегрально-динамічній.

Перераховане вище дає змогу, як правило, застосування порогових пристроїв реєстрації, а їх використання ефективно, якщо імпульси сигналів акустичної емісії не перекриваються. Однак внаслідок відображень та перетворень хвиль різного роду типів і властивостей, які обумовлені резонансними явищами, що можна побачити на показах датчика, який відображає частини імпульсної акустичної емісії, що зчитуються та зберігається

у відповідному приймальному тракті та виконуються дії, які призводять до перекривання їх між собою.

Таким чином, задача є актуальною та полягає у дослідженні та аналізі нових методів та засобів акустико-емісійної діагностики у задачах неруйнівного типу, що дозволить підняти відсоток правильності і достовірність аналізу. Для вирішення поставлених задач, необхідно здійснити аналіз і дослідити інформативні характеристик акустико-емісійних сигналів.

РОЗДІЛ 1. ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ МЕТОДУ АЕ

1.1. Суть методу АЕ та його місце в задачах НК

Акустична емісія – це фізичне явище, пов'язане з випромінюванням пружних хвиль з твердого тіла при його навантаженні. Вона визначається як випромінювання матеріалом механічних хвиль, які викликані внутрішньою динамічною локальною перебудовою структури твердого тіла.

При вивченні АЕ слід розглядати динамічні процеси в ієрархічній послідовності моделей. Зазвичай враховуються три масштабних рівня – мікроскопічний, мезоскопічний та макроскопічний. У першому випадку аналізують первинні джерела АЕ, обумовлені утворенням, переміщенням і анігіляцією одиничних дефектів кристалічної решітки. На макроскопічному рівні вивчають процеси випромінювання пружних хвиль при пластичної деформації і руйнуванні об'єктів, коли джерелом випромінювання є великі неоднорідності в матеріалі навантажувати об'єкта. Мезоскопічні моделі дозволяють пов'язувати точні рішення, які були отримані на мікроскопічному рівні з феноменологічними моделями макрорівня.

Проте для появи АЕ необхідно виконання двох основних умов:

- Локальності, тобто обмеженості зміни структури в просторі;
- Динамічності процесів, що протікають, при яких перехід з одного стану в інший повинен проходити досить швидко.

Основною областю застосування АЕ, яка була проаналізована у роботі [1], вважається вирішення задачі виявлення та розвитку дефектів в об'єкті контролю (ОК). В такому випадку слід враховувати, що під сигналом АЕ розуміють АЕ-повідомлення про стан конструкції. Таким чином, сигнал може бути виражений рядом параметрів: розподілом джерел АЕ на поверхні ОК, параметрами імпульсів АЕ тощо. Одиничний імпульс АЕ, який виникає в результаті спрацювання джерела АЕ, неперервна АЕ при пластичній

деформації та витоці, розподіл джерел АЕ на поверхні ОК – все це сигнали, в яких знаходиться АЕ-інформація щодо ОК.

Розвиток дефектів викликає зміну напружено-деформованого стану матеріалу. При досить високих швидкостях переходу з одного рівноважного стану в інший відбувається виділення значної кількості пружної енергії у вигляді акустичних хвиль. Описаний вище механізм можна узагальнено представити у вигляді рис. 1.1. Активація джерел АЕ в ОК відбувається під дією процесів, що створюють в матеріалі нерівноважний стан. Наявні в ОК несутцільності здійснюють перехід в більш стабільний стан.

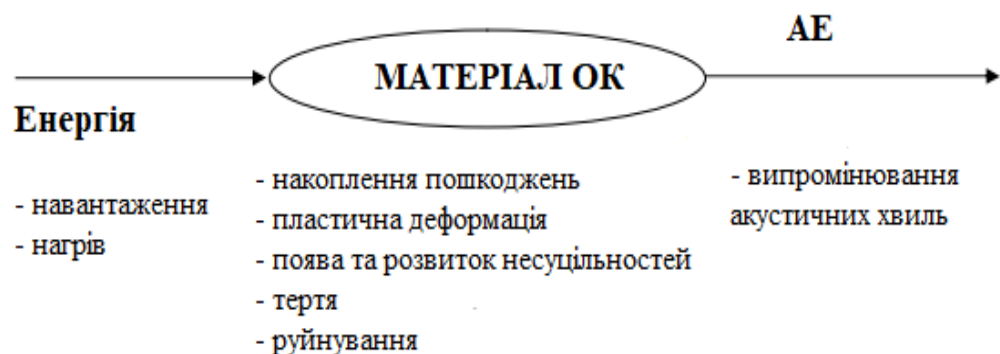


Рис. 1.1. Фізичні явища, які спричиняють явище АЕ

Цей процес супроводжується випромінюванням акустичних хвиль, так званих механічними сигналами АЕ. Таким чином, є прямий зв'язок параметрів, що вимірюються, з характером розвитку дефектної структури, який не властивий іншим методам НК.

Процес визначення діагнозу об'єкта в результаті аналізу інформації, що містяться в сигналах АЕ, називається неруйнівним контролем методом АЕ. Величезна перевага даного методу діагностики полягає в можливості отримання безпосередньої інформації про розвиток і зростання дефектів. У порівнянні із загальною історією діагностики даний метод є відносно молодим і все ще інтенсивно розвиваються.

Практична значимість методу АЕ в сучасній системі НК вже досить велика і може бути підтверджена інтенсивним застосуванням АЕ систем в атомній [2] і авіаційної промисловості [3], кораблебудуванні, на залізничному транспорті [4] і т. д.

Згідно означення, представленого у роботі [5], акустико-емісійний метод – метод контролю та діагностики, що ґрунтується на аналізі параметрів пружних хвиль АЕ.

В роботі [1] описаний у загальному випадку контроль будь-якого об'єкта або моніторинг процесу та представлений у вигляді алгоритму основних операцій:

1. На поверхню заздалегідь підготовленого ОК розміщують прийомні перетворювачі АЕ (ПАЕ). Конкретні місця установки визначаються в залежності від геометрії і акустичних властивостей матеріалу деталі. При недостатньому акустичному контакті між ПАЕ і ОК сигнали від дефекту можуть бути пропущені діагностичною системою.

2. Проводиться перевірка акустичного контакту з використанням імітаторів, які випромінюють в ОК акустичні хвилі, подібні хвилям від тріщини. Якщо амплітуди імпульсів, прийнятих від імітатора, перевищують певний рівень і відсутні сторонні перешкоди або шуми, то система і ОК правильно підготовлені до випробування.

3. Проводиться АЕ контроль при навантаженні об'єкта механічною силою, гідравлічним або пневматичним тиском або шляхом нагрівання.

4. Реєстрація сигналів АЕ, які виникають в ОК.

5. Виконується аналіз параметрів і поточних характеристик сигналів в процесі контролю (моніторингу) або після нього.

6. Визначення характеристик АЕ, необхідних для діагнозу, на основі попередніх випробувань та уточнення з використанням імітатора.

Характерними особливостями методу АЕ контролю [6], що визначають його можливості і область застосування, є:

- Метод АЕ-контролю забезпечує виявлення і реєстрацію дефектів, що тільки розвиваються, що дозволяє класифікувати дефекти не за розмірами, а за ступенем їх небезпеки;

- Метод АЕ-контролю має досить високочутливим до зростаючих дефектів, що дозволяє виявити в робочих умовах приріст тріщини розмірів з міліметри. Гранична чутливість акустико-емісійної апаратури за теоретичними оцінками складає близько $1 \cdot 10^{-6}$ мм², що відповідає виявленню стрибка тріщини протяжністю 1 мкм на величину 1 мкм;

- Властивість інтегральності методу АЕ-контролю забезпечує повний контроль за об'єктом з використанням одного або декількох перетворювачів АЕ – контролю (ПАЕ), нерухомо встановлених на поверхні об'єкта;

- Метод АЕ дозволяє проводити контроль різних технологічних процесів та процесів зміни властивостей і стану матеріалів;

- Положення і орієнтація об'єкта не впливає на виявлення дефектів;

- Метод АЕ має менше обмежень, пов'язаних з властивостями і структурою матеріалів, в порівнянні з активними методами;

- Джерелом сигналу є сам матеріал, а не зовнішнє джерело;

- Метод є дистанційним і вимагає правильного розміщення датчиків на поверхні об'єкта;

- Координати дефектів визначають без сканування поверхні.

Основним обмеженням застосування методу є складність виділення сигналів АЕ на фоні акустичних шумів і електромагнітних завад. Метрологічною особливістю методу є неможливість відтворення результатів контролю в повторних випробуваннях.

Максимальна ефективність застосування методу досягається на протяжних об'єктах з грубо обробленою поверхнею і довільним розташуванням або орієнтацією дефектів, що розвиваються.

Як вказано в джерелі [1], метод АЕ рекомендується використовувати для контролю промислових об'єктів за такими схемами, які представляють собою, як правило, варіанти поєднання з іншими методами неруйнівного контролю:

1. *Проведення АЕ-контролю об'єкту [1].* У разі виявлення джерел АЕ в місці їх розташування проводять контроль одним з регламентованих методів неруйнівного контролю: ультразвуковим, радіаційним, магнітним тощо, передбаченими нормативно-технічними документами. Дану схему рекомендується використовувати при контролі об'єктів, що знаходяться в експлуатації. При цьому скорочується обсяг застосовуваних методів НК, оскільки в разі використання регламентованих методів необхідне проведення сканування по всій поверхні (об'єму), що контролюється.

2. *Проведення контролю одним або декількома методами НК [1].* При виявленні неприпустимих (за регламентованими нормами методів контролю) дефектів або при виникненні сумніву в достовірності застосовуваних методів НК проводять контроль об'єкта з використанням методу АЕ. Остаточне рішення про допуск об'єкта в експлуатацію або ремонті виявлених дефектів приймають за результатами проведеного АЕ контролю.

3. У разі наявності в об'єкті дефекту, виявленого одним з методів НК, метод АЕ використовують для *відстежування* [1] розвитку дефекту. При цьому може бути використаний економний варіант системи контролю, із застосуванням одноканальної або малоканаліальною конфігурацією акустико-емісійної апаратури.

4. Метод АЕ відповідно до *вимог нормативно-технічних документів* [1] до експлуатації посудин, що працюють під тиском, застосовують при пневмовипробуваннях об'єкта в якості супроводжувачого методу, що підвищує безпеку проведення випробувань. У цьому випадку метою застосування АЕ контролю служить забезпечення попередження можливості катастрофічного руйнування. Рекомендується використовувати метод АЕ як супроводжувачий методу і при гідровипробуванні об'єктів.

5. Метод АЕ може бути використаний для *оцінки залишкового ресурсу* [1] та вирішення питання щодо можливості подальшої експлуатації об'єкта. Оцінка ресурсу проводиться з використанням спеціально розроблених методик, погоджених в установленому порядку. При цьому достовірність результатів

залежить від обсягу і якості апіорної інформації про моделі розвитку пошкоджень і стану матеріалу контрольованого об'єкта.

Наукові та технічні роботи в області НК методом АЕ проводяться в двох основних напрямках.

До першої групи робіт відносяться дослідження, спрямовані на створення нової записуючого устаткування і більш чутливих перетворювачів. Отримані результати носять прикладний характер і визначаються сучасними потребами промисловості. Сучасні мікропроцесорні системи дозволяють проводити АЕ випробування з цифровою обробкою сигналів в реальному масштабі часу.

Метою другого напрямку наукових робіт є отримання методів і алгоритмів визначення динамічних характеристик розвитку дефектних структур на основі аналізу їх АЕ портретів. Основна увага дослідників направлено на вивчення механізмів випромінювання АЕ тріщинами, процесів поширення імпульсів в ОК, аналіз зв'язку параметрів сигналів з властивостями тріщини.

1.2. Джерела виникнення сигналів акустичної емісії

В залежності від фізичного джерела прийнято розрізняти наступні основні види АЕ:

- АЕ матеріалу – викликана локальною динамічною перебудовою структури матеріалу.
- АЕ витоку – викликана гідродинамічними та (або) аеродинамічними явищами при протіканні рідини або газу через наскрізну несуцільність об'єкту дослідження.
- АЕ тертя – викликана тертям поверхні твердих тіл.
- АЕ при фазових перетвореннях – пов'язана з випромінюванням звукових хвиль при перемагнічуванні матеріалів.
- АЕ радіаційної взаємодії – виникає у результаті нелінійної взаємодії випромінювання з речовинами та матеріалами.

- АЕ при хімічних та електрохімічних реакціях – виникає у результаті протікання хімічних та електрохімічних реакцій, включаючи різні корозійні процеси.

Серед перерахованих вище видів АЕ найбільше застосування для контролю об'єктів знайшли АЕ матеріалу, витоку та тертя.

Розглянемо джерела виникнення сигналів АЕ, які пов'язані з природою матеріалів.

Елементарні джерела АЕ. В ідеальній кристалічній решітці твердого тіла атоми розташовані в вузлах і здійснюють теплові коливання біля свого центрального положення, в якому вони можуть знаходитися нерухомо тільки при абсолютному нулі температур, якщо не враховувати квантових ефектів. Тепловий рух атомів створює акустичний шум, енергія якого розподілена в частотному діапазоні до 10^{13} Гц. Амплітуди теплових коливань атомів решітки та їх швидкості статистично розподілені відповідно до закону Больцмана. Згідно з цим законом, існує деяка частина атомів, які мають високі швидкості руху і переміщуються на великі відстані. Вони можуть відірватися від свого положення рівноваги і опинитися між іншими атомами. В цьому випадку утворюються два характерних дефекту: вакансія і атом впровадження.

Ці дефекти викликають спотворення кристалічної решітки, з ними пов'язана додаткова потенційна енергія решітки. Зворотне подія – атом впровадження може зустрітися з вакансією. У цей момент спотворення кристалічної решітки зникає, два дефекту решітки анігілюють. Додаткова потенційна енергія кристалічної решітки перетворюється в енергію пружних коливань, випромінюється імпульс АЕ, енергія якого дорівнює сумі енергій вакансії і атома впровадження (в статичній реакції анігіляції). Параметри теплового шуму при наявності в кристалічній решітці мікроскопічних дефектів повинні відрізнятися від параметрів шуму ідеальної структури. Вони визначаються типом дефектів кристалічної решітки, їх числом і розмірами, а також умовами, в яких перебувають. Основними процесами, що визначають поведінку ОК, є пластична деформація та поява і розвиток тріщини.

АЕ в одновимірному кристалі. Попередньо, до розгляду формування тріщини і супроводжуючого його акустичного випромінювання, уявімо деформацію і руйнування одновимірного кристала у вигляді ланцюжка атомів, пов'язаних між собою силовими лініями.

Одновимірний кристал - це модельна ідеалізація, яка досить широко використовується при вивченні ряду процесів в твердому тілі. На можливості подання твердого тіла у вигляді одновимірних ланцюжків, двовірних сіток або тривимірних об'ємних структур, в яких атоми зображуються у вигляді масивних утворень (кульок), пов'язаних пружними силами міжатомної взаємодії, засновані осциляторні моделі твердого тіла [7, 8]. У подібних моделях тверде тіло може бути описано як набір фононів - елементарних збуджень решітки.

Навантаження ланцюга атомів призводить до розтягування зв'язків. Здійснюється робота по переміщенню атомів ланцюга з подоланням сил міжатомного зв'язку. Відбувається накопичення потенційної енергії в атомних зв'язках. Зв'язки розтягуються до максимально можливих для даної речовини значень r_m , після чого ланцюг розривається. Величина r_m максимально можливого переміщення атома становить 10 ... 20 нм.

При неперервному навантаженні в певний момент ланцюг атомів розривається, при цьому в місці розриву відбувається прискорене взаємне переміщення атомів. Атоми віддаляються один від одного зі зменшенням сили взаємодії. Зв'язки між іншими парами атомів, що належать даному ланцюжку, починають релаксувати.

Релаксація в даному випадку означає вивільнення енергії, накопиченою попередніми розтягуванням, і відповідне переміщення цих атомів уздовж ланцюжка. Величина виділеної енергії і шлях, пройдений атомом, розташованим на кордоні розриву, пропорційні числу прорелаксованих зв'язків або, в даному випадку, релаксації.

Таким чином, енергія АЕ є енергія релаксації зв'язків після розриву однієї з них в ланцюжку атомів. В [9] запропоновано називати квазічастинку, яка

випромінюється в результаті розриву одиничного атомного зв'язку з відповідною енергією, фрактоном. Тим самим вводиться поняття про фрактон як квант руйнування, який включений в опис процесу руйнування твердого тіла.

Нерівномірність розподілу атомів уздовж ланцюга пов'язана з температурними флуктуаціями. Руйнування структури твердого тіла, що видно на прикладі одновимірного кристала, є синергетичним, колективним процесом. Колективні збудження, названі дилатонами, призводять до розтягування і подальшого руйнування навантаженого ланцюга атомів [7]. Час очікування розриву атомної зв'язку залежить від величини енергії навантаження ланцюжка, енергії, необхідної для розриву, і температури.

Формування одиничного імпульсу АЕ при розвитку тріщини. Використаємо представлення структури твердого тіла у вигляді плоскої решітки (рис. 1.2). Аналогічна атомна модель тріщини розглядалась також у [8]. Вважаємо, що між атомами діють сили зв'язку в приближенні найближчого сусіду. Прямі лінії позначають атомні зв'язки. Тріщина у вигляді розриву атомних зв'язків розповсюджується зліва направо. Сила F , яка прикладена до решітки твердого тіла у вертикальному напрямі, розтягує решітку, при цьому в навантажених повздовжніх атомних зв'язках накоплюється пружна енергія. На рисунку 1.2. можна побачити атомну модель, яка описує кінець тріщини.

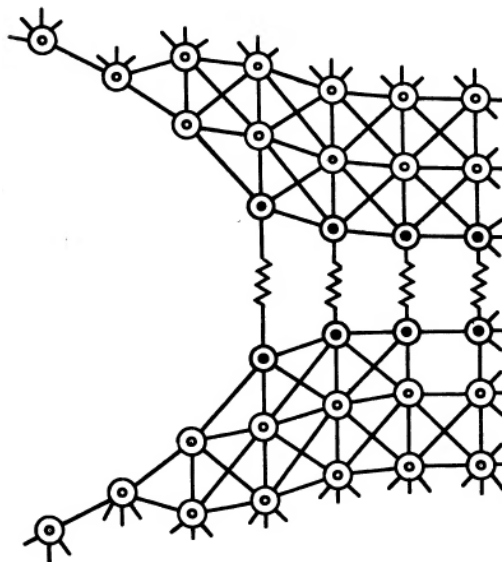


Рис. 1.2 . Атомна модель кінця тріщини

Під повздовжними зв'язками розуміємо атомні зв'язки, які розташовані уздовж прикладеного навантаження. Представлення твердого тіла у вигляді решітки атомних зв'язків дозволяє описати руйнування решітки та супроводжуюче руйнування АЕ як дискретний процес: розрив атомного зв'язку → випромінювання колективу фононів (фрактонів) → розрив наступного зв'язку і т.д.

Модель формування одиничного імпульсу АЕ і її аналітичні вирази дозволяють представити ряд можливостей [8]:

- Зв'язати параметри імпульсу АЕ з параметрами процесу руйнувань;
- Пояснити ряд характерних особливостей форми одиничного імпульсу АЕ;
- Створити модель повного сигналу АЕ як випадкового імпульсного процесу;
- Виконати постановку задачі створення оптимального приймача АЕ-сигналів;
- Провести аналіз акустичного і електроакустичного тракту об'єктів і АЕ-систем;
- Сформувати базу для створення системи класифікації джерел АЕ і складання критеріїв оцінки стану об'єктів.

Моделі АЕ при пластичній деформації. Дефектом кристалічної решітки, який впливає на механічні властивості реальних твердих тіл є дислокація. Вона представляє собою порушення порядку кристалічної решітки. Серед основних типів дислокації виділяють крайову та винтову.

Крайова дислокація спрощено представляється як неповна атомна площина, вставлена поміж цілих атомних площин (рис. 1.3). Там, де зайва атомна площина закінчується, кристалічна решітка спотворена – це ядро дислокації. Зона спотворення, яка представляє собою лінію дислокації, тягнеться по лінії обриву площини, тобто дислокація є лінійним дефектом, тоді

як атом впровадження та вакансія – точковими. Наявність дислокації у кристалі в значній мірі зменшує його опір механічній деформації. Переміщення ядра дислокації відбувається стрибкоподібно. Неможливо представити плавного без прискорення переміщення дислокації, а будь-яке стрибкоподібне механічне переміщення повинно супроводжуватися явищами типу удару, та, відповідно, випромінюванням імпульсу пружних хвиль. При кожному стрибку випромінюється елементарний імпульс АЕ.

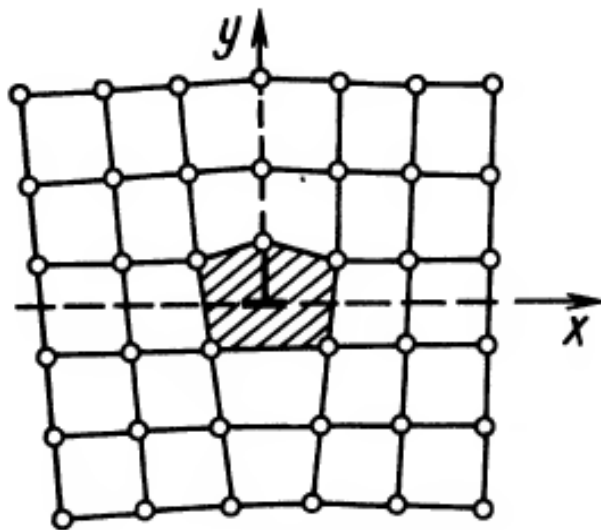


Рис. 1.3. Крайова дислокація

Вихід дислокації на поверхню або злиття двох дислокацій протилежного знаку відбувається прискорено з наростанням швидкості та супроводжується випромінюванням пружної хвилі, амплітуда якої визначається швидкістю процесу. В результаті анігіляції двох дислокацій протилежного знаку або повного виходу дислокації на поверхню кристала енергія, рівна повній енергії спотворення кристалічної решітки, повинна трансформуватися в енергію пружного імпульсу.

Відзначимо деякі характерні особливості процесів, що породжують АЕ в твердому тілі, і можливості, що виникають при цьому. Аналіз сигналів джерел АЕ дозволяє вивчати параметри процесів виникнення, руху і анігіляції дефектів кристалічної решітки в динаміці, в реальному часі, а не по статично

зафіксованим слідах процесів, як це робиться зазвичай при дослідженні мікроструктур з використанням мікроскопів.

Будь-яка система прагне перейти зі стану з високим значенням потенційної енергії в стан з меншою її значенням. «Повільне» навантаження, коли швидкість навантаження значно менше швидкості звуку в матеріалі об'єкта, породжує після подолання потенційного бар'єру швидкі процеси релаксації в твердому тілі, що супроводжується випромінюванням пружних коливань.

При повільному навантаженні в твердому тілі поступово зростають механічні напруги, решітка твердого тіла накопичує пружну потенційну енергію. Оскільки в більшості випадків навантажуються об'єкти неоднорідні за своїми фізико-механічними властивостями, в деякій області твердого тіла локальні напруження досягають в якийсь момент граничного значення і внутрішні зв'язки кристалічної решітки розриваються. При цьому швидко виділяється частина пружної енергії, яка накопилася раніше, певна частка енергії витрачається на швидке переміщення частинок в локальній зоні, де виникло порушення зв'язку. Відбувається випромінювання пружної хвилі, а напруги, сконцентровані в зоні неоднорідності, релаксують.

Слід зазначити, що при утворенні або підростанні тріщини імпульсний вплив на поверхні тріщини при кожному її стрибку не приводить до випромінювання сигналу з тривалими осциляціями зважаючи на великий ступінь демпфірування випромінюючої поверхні тілом об'єкта. Практичне спостереження показало, що сигнали АЕ осциляторного (радіоімпульсного) типу виникають в результаті багаторазових відображень в об'єкті імпульсів АЕ. Осциляції також можливі унаслідок складної форми площадки руйнування.

Таким чином, порушення пружних хвиль в розглянутих процесах можливо незалежно від їх природи тільки в разі досягнення критичних значень діючих сил. Критичні значення мають місце, коли сума діючих сил досягає величини сили розриву атомних зв'язків. Несуцільностями твердого тіла, які

можуть служити джерелами АЕ при навантаженні, є всі типи дефектів кристалічної решітки.

1.3. Основні типові інформативні параметри сигналів АЕ

Серед великого значення параметрів зареєстрованих сигналів АЕ існує п'ять найбільш широко використовуваних.

До них відносяться число осциляцій, амплітуда, тривалість, час наростання сигналу і площа під обвідною сигналу (MARSE), що представляє собою аналог енергії (рис. 1.4). У деяких тестах використовується менша кількість параметрів, в інших – додаткові параметри, наприклад, наступні: число імпульсів АЕ, швидкість рахунку АЕ, енергія АЕ, активність АЕ, параметр класифікації тощо. Однак 5 основних параметрів, наведених спочатку, є стандартними для АЕ контролю і застосовуються в цій галузі неруйнівного контролю протягом більше 10 років.

Амплітуда (A, Amplitude) являє собою максимальне значення напруги сигналу та вимірюється в вольтх. Цей найважливіший параметр визначає можливість реєстрації АЕ події. Амплітуди сигналів прямо пов'язані з магнітудами подій в джерелі та їх значення коливаються в широких межах від мікрвольт до вольт. Амплітуди АЕ прийнято виражати в децибельному (логарифмічному) масштабі, при цьому 1 мкВ на виході датчика приймається за 0 дБ, 10мкВ - 20 дБ, 100мкВ - 40 дБ тощо.

Число осциляцій є числом перевищень сигналом встановленого значення порогу. Вимірювання числа осциляцій є простим способом кількісної оцінки сигналу. Цей параметр залежить від магнітуди джерела сигналів, а також від акустичних та резонансних властивостей середовища і датчика.

Площа під обвідною сигналу (MARSE) – параметр, відомий також як число осциляцій енергії, обчислюється по площі під обвідною сигналу. Параметр MARSE є чутливим і до амплітуди, і до тривалості сигналу, тому є

дуже поширеним. Крім того, він менш залежний від встановленого значення порогу і робочої частоти. Сумарна АЕ активність повинна вимірюватися шляхом підсумовування магнітуд всіх зареєстрованих сигналів, а серед всіх вимірюваних параметрів, MARSE найкращим чином підходить для цих цілей.

Тривалість (D, Duration) – це повний час, починаючи від перетину сигналом порогу, закінчуючи відходом його значення під значення порогу. Вимірюваний в мікросекундах, цей параметр залежить від магнітуди джерела, а також акустичних і резонансних властивостей середовища і датчика (як і число осциляцій). Крім того, даний параметр є корисним при відфільтровування різних шумів (по тривалості) або інших типів джерел.

Час наростання сигналу (R, Rise time) – це час від першого перетину сигналом порогу до досягнення максимальної амплітуди сигналом. Даний параметр в сильному ступені залежить від функції поширення і передавальних властивостей датчика. Він може використовуватися для визначення типу деяких джерел сигналів і при відфільтровуванні шумів.

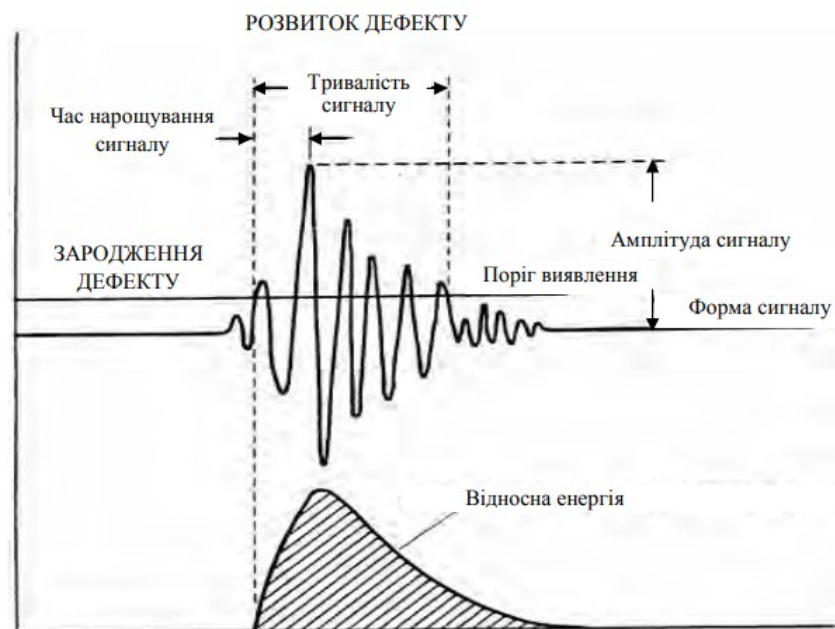


Рис. 1.4. Стандартний набір параметрів зареєстрованого сигналу АЕ, які вимірюються системами [6]

Виділимо ще декілька параметрів сигналів АЕ:

- Число імпульсів АЕ N_{Σ} – число зареєстрованих імпульсів дискретної АЕ за інтервал часу спостереження;
- Швидкість рахунку АЕ $\dot{N}$ – відношення сумарного рахунку АЕ до інтервалу часу спостереження;
- Енергія АЕ E – енергія, що виділяється джерелом АЕ і переноситься хвилями, що виникають в матеріалі;
- Активність АЕ Σ – число зареєстрованих імпульсів АЕ за одиницю часу;
- Параметр класифікації n – показник ступеня в вираженні, що описує залежність сумарного рахунку АЕ N від коефіцієнта інтенсивності напружень K , $N = aK^n$ де a – константа, яка відображає умови випробувань.

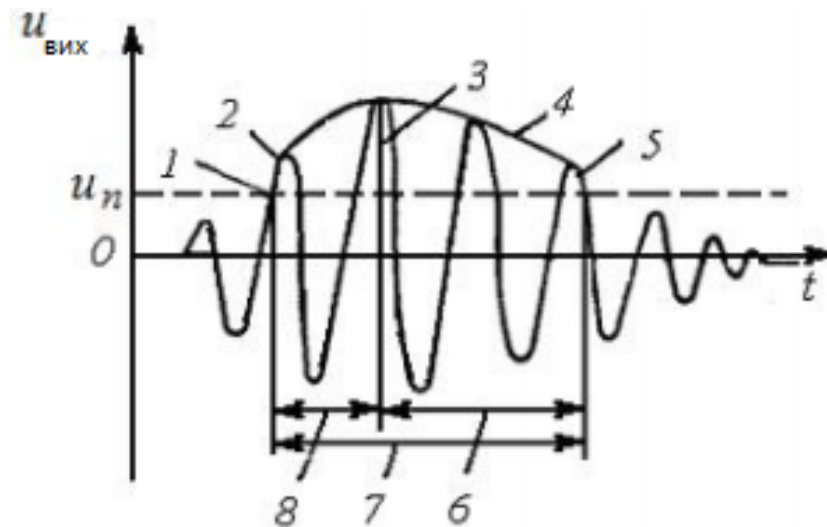


Рис. 1.5. Схематичне зображення сигналу АЕ на виході перетворювача:
 u_n – рівень дискримінації; 1 – час приходу; 2 – перший імпульс; 3 – амплітуда u_T ; 4 - огинаюча; 5 – останній імпульс; 6 – час спадання; 7 – тривалість сигналу (D); 8 – час зростання (RT)

На рис. 1.5 зображений нецифрований (аналоговий) сигнал при відсутності фонових перешкод. Сигнал складається з безлічі окремих викидів поступово наростаючої та спадаючої амплітуди. Він повністю описується набором миттєвих значень амплітуда – час.

Висновки до розділу 1

Для діагностування стану технічних об'єктів в процесі їх експлуатації перспективними є системи діагностики, в яких використовуються інформаційні шумові сигнали, що виникають в результаті природного функціонування об'єктів.

Встановлено, що обробка сигналів акустичної емісії в системі неруйнівного контролю передбачає наявність апіорних даних про дефект, який розпізнається, і полягає в оцінюванні фази розвитку дефекту шляхом порівнянням спостережуваних реалізацій процесу з еталонними кривими.

Проаналізовано основні параметри сигналів акустичної емісії. Стандартними для АЕ контролю є число осциляцій, амплітуда, тривалість, час наростання сигналу і площа під обвідною сигналу (MARSE), що представляє собою аналог енергії (рис. 1.4). Вони застосовуються в цій галузі неруйнівного контролю протягом більше 10 років.

РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ІНФОРМАТИВНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СИГНАЛІВ АЕ

2.1. Модель сигналів акустичної емісії

З фізичної точки зору АЕ являє собою процес генерації і поширення пружних хвиль напруги в твердих тілах, викликаних локальною динамічною перебудовою їх структури під дією напружень, створюваних зовнішнім навантаженням. Джерела АЕ є точковими і випромінюють поодинокі імпульси.

Серед класифікацій АЕ було виділено дискретну АЕ [3] (механічні сигнали складаються з роздільних розрізнявальних імпульсів АЕ) та неперервну АЕ [3] (механічні сигнали якої реєструються як неперервний сигнал в заданому інтервалі часу).

Останню можна зустріти при:

- Високій активності АЕ;
- Наявності великої кількості джерел;
- Великої тривалості імпульсів.

Сигнали дискретної і неперервної АЕ можуть мати велике чи мале значення амплітуди, але основна відмінність між ними полягає в характерній формі: дискретний сигнал складається з імпульсів, а всередині неперервного сигналу неможливо однозначно виділити імпульси.

Неперервна АЕ виникає при пластичній деформації та є результатом динамічної перебудови структури матеріалу на мікроскопічному рівні. При цьому різні метали і сплави випромінюють велике число одиничних імпульсів малої амплітуди. АЕ сигнали такого типу реєструється як неперервний процес, а його реалізації схожі з реалізаціями теплового шуму електронних приладів.

Дискретна АЕ при пластичної деформації є результатом утворення мікротріщин в деяких точках об'єкта. При перевищенні межі текучості матеріалу дискретна АЕ обумовлена освітою, розвитком і поширенням тріщин в локальних областях об'єкта і характеризує початковий етап руйнування. В

цьому випадку тріщини розвиваються нерівномірно, кожен стрибок тріщини породжує імпульс великої амплітуди. АЕ сигнал при розвитку тріщини є нестационарним випадковим імпульсним потоком.

При розвитку тріщини, який супроводжується пластичною деформацією, дискретна АЕ з'являється на тлі неперервної. На підставі цього в роботі [10] була обґрунтована загальна модель сигналу АЕ в наступному вигляді:

$$\xi(t) = \xi_n(t) + \xi_d(t),$$

де $\xi_n(t)$ і $\xi_d(t)$ позначені сигнали неперервної і дискретної АЕ відповідно. Слід зазначити, що на сьогоднішній день при дослідженні акустичної емісії обмежуються, як правило, аналізом тільки дискретної складової.

Дискретна АЕ виникає незалежно від неперервної, тому складові моделі є незалежними випадковими процесами. Дотримуючись робіт [11, 12] розглянемо завдання в рамках стаціонарної моделі.

Модель сигналу обґрунтована в роботі [13] і має вигляд

$$\xi_n(t) = \sum_{k=1}^{v_n(t)} \eta_{kn} h_n(t - t_k),$$

де $v_n(t)$ – однорідний процес Пуассона з параметром розподілу λ_n ; t_k – момент появи імпульсів; $h_n(t)$ – форма елементарного імпульсу; амплітуди імпульсів η_{kn} є взаємно незалежними однаково розподіленими випадковими величинами, що не залежать від t_k .

Дискретна складова моделі має вигляд [13]

$$\xi_d(t) = \sum_{k=1}^{v_d(t)} \eta_{kd} h_d(t - t_k),$$

де $v_d(t)$ – однорідний процес Пуассона з параметром λ_d ; амплітуди імпульсів η_{kd} є взаємно незалежними однаково розподіленими випадковими величинами, що не залежать від t_k .

Дотримуючись даних, що вказані у відомих роботах [13, 14], будемо вважати, що форма елементарних імпульсів у неперервній та дискретної емісії однакова і різниться лише параметрами, і приймемо для опису форми імпульсів наступну модель [14]:

$$h(t) = (t/\tau_0)^{b-1} e^{-t/\tau_0} E(t),$$

де b – параметр форми імпульсу; τ_0 – ефективна тривалість імпульсу.

Параметр форми b визначається властивостями середовища і характеризує зміну форми імпульса при його поширенні. Значення $b = 1$ відповідає положенню імпульсу поблизу джерела виникнення акустичного імпульсу, значення $b > 1$ – імпульсу при віддалення від джерела випромінювання [14].

Згідно роботі [15] при неперервної емісії величина лежить в діапазоні $5 \cdot 10^{-6} \dots 5 \cdot 10^{-5}$ с, а при дискретної емісії, яка була викликана створенням мікротріщини металі – належить діапазону $10^{-3} \dots 10^{-2}$ с.

Випадкові величини $\eta_{кн}$ і $\eta_{кд}$ визначаються своїми законами розподілу, які можуть бути різними для неперервної і дискретної емісії. Згідно з результатами роботи [14], закон розподілу випадкових амплітуд є показовим з різними параметрами розподілу β_d і $\beta_{д}$, які в свою чергу обернено пропорційні середнім значенням амплітуд імпульсів. Крім того, при дискретної емісії спостерігається [12, 14] збільшення амплітуд $\eta_{кн}$.

Аналіз законів розподілу [10] сигналів з формою імпульсів $h(t) = (t/\tau_0)^{b-1} e^{-t/\tau_0} E(t)$ показав, що при $\lambda\tau_0 < 1$ закон розподілу може істотно відрізнятися від гауссовського, особливо при малих значеннях параметра. При $\lambda\tau_0 > 1$ відбувається нормалізація процесу, що суперечить відомому факту [42, 51, 67] про те, що при $\lambda\tau_0 \rightarrow \infty$ пуасоновські імпульсні процеси нормалізуються. Ефект нормалізації пояснюється [16] тим, що при збільшенні $\lambda\tau_0$ відбувається перекриття великого числа елементарних імпульсів.

В роботі [10] показано, що закон розподілу процесу з цією формою може лише приблизно вважатися гауссівським при одночасному виконанні наступних умов:

$$1) b \gg 1; 2) \lambda \tau_0 \gg 1.$$

Тому можна стверджувати, що для неперервної акустичної емісії параметр $\lambda_n \tau_{0n} \gg 1$, а для дискретної акустичної емісії $\lambda \tau_0 < 1$.

2.2. Закони розподілу сигналів АЕ

Імовірнісні характеристики пуассонівських імпульсних процесів є досить гарно дослідженні [17]. Дослідження негауссівського розподілу пуассонівських імпульсних процесів, який відноситься до класу безмежно подільних розподілів було проведено у роботі [18]. Як було сказано у попередньому розділі, закон розподілу процесу може приблизно вважатися гауссівським при одночасному виконанні наступних умов

$$1) \quad b \gg 1; 2) \lambda \tau_0 \gg 1.$$

Метод кумулянтний аналізу є ефективним для дослідження негауссівських випадкових процесів.

Одномірні кумулянти пуассонівських імпульсних процесів дорівнюють

$$\kappa_s = \kappa_{s\eta} \int_{-\infty}^{\infty} h^s(t) dt,$$

де $\kappa_{s\eta} = \lambda \alpha_s$, а α_s – s -і початкові моменти амплітуд η_k .

У роботі [18] був знайдений вираз для розрахунку кумулянтів пуассонівських імпульсних процесів з формою імпульсу

$$\kappa_s = \kappa_{s\eta} \tau_0 \Gamma(sb - s + 1) / s^{sb-s+1}$$

де $\Gamma(x)$ – гамма-функція.

Оскільки, як все було сказано, сигнали неперервної та дискретної АЕ є незалежними, кумулянти κ_s процесу пов'язані з кумулянтами складових через наступну формулу

$$\kappa_s = \kappa_{сн} + \kappa_{сд}$$

Визначимо значення відношення сигнал/перешкода за допомогою наступної формули

$$C/\Pi = \frac{\sqrt{\kappa_2[\xi_d(t)]}}{\sqrt{\kappa_2[\xi_n(t)]}} = \frac{\sqrt{\kappa_2[\eta_{kd}(t)]\tau_{0d}}}{\sqrt{\kappa_2[\eta_{kn}(t)]\tau_{0n}}}$$

З урахуванням показникового закону розподілу випадкових амплітуд η_{kd} та η_{kn} з параметрами β_d та β_n , останній вираз набуде наступного вигляду

$$C/\Pi = \frac{\beta_n}{\beta_d} \sqrt{\frac{\lambda_d \tau_{0d}}{\lambda_n \tau_{0n}}}$$

У практичних завданнях часто зручно використовувати безрозмірні кумулянтних коефіцієнти γ_s , які дорівнюють

$$\gamma_s = \frac{\kappa_s}{\kappa_2^{s/2}} = \gamma_{s\eta} \tau_0^{1-s/2} \frac{2^{\frac{s}{2}(2b-1)} \Gamma(sb - s + 1)}{s^{sb-s+1} [\Gamma(2b - 1)]^{\frac{s}{2}}},$$

де $\gamma_{s\eta}$ – кумулянтні коефіцієнти амплітуд η_k .

У роботі [19] було досліджено, що при відношенні $C/\Pi = 1$ кумулянтні коефіцієнти як мінімум на порядок перевищують значення кумулянтних коефіцієнтів неперервної АЕ, а при $C/\Pi \rightarrow \infty$ значення кумулянтних коефіцієнтів γ_s суміші наближаються до значень відповідних кумулянтних коефіцієнтів дискретної АЕ.

З роботи [20] відомо, що щільність імовірності суми двох незалежних стаціонарних випадкових процесів, в даному випадку загальної моделі сигналу АЕ, представляє собою згортку щільностей імовірностей складових, тобто виглядатиме наступним чином

$$p_\xi(x) = p_n(x) \otimes p_d(x)$$

У такому випадку характеристичну функцію для незалежних процесів $\xi_n(t), \xi_d(t)$ можна представити у вигляді добутку характеристичних функцій складових, тобто

$$f_{\xi}(u) = f_{\text{н}}(u) \cdot f_{\text{д}}(u)$$

Твірну функцію кумулянт загальної моделі сигналу АЕ можна представити у вигляді

$$\phi_{\xi}(u) = \ln f_{\text{н}}(u) + \ln f_{\text{д}}(u) = \phi_{\text{н}}(u) + \phi_{\text{д}}(u)$$

Для стаціонарних випадкових процесів з довільним законом розподілу приведені вище співвідношення є справедливими.

Твірну функцію кумулянт для безмежно подільних випадкових процесів можна представити у вигляді

$$\phi_{\xi}(u) = ium_{\xi} + \int_{-\infty}^{\infty} (e^{iux} - 1 - iux) \frac{dK_{\xi}(x)}{x^2}$$

На підставі останніх двох наведених формул можна стверджувати, що пуассонівська спектральна функція загальної моделі сигналу АЕ володіє властивістю адитивності, тобто

$$K_{\xi}(x) = K_{\text{н}}(x) + K_{\text{д}}(x)$$

У попередній формулі всі пуассонівські спектральні функції є неперервними функціями по причині того, що функція

$$h(t) = (t/\tau_0)^{b-1} e^{-t/\tau_0} E(t),$$

яка й описує форму імпульсів, є неперервною функцією.

У такому випадку процес загальної моделі сигналу АЕ

$$\xi(t) = \xi_{\text{н}}(t) + \xi_{\text{д}}(t)$$

задається пуассонівською спектральною щільністю, яка може бути розрахована за наступною формою

$$k_{\xi}(x) = K'_{\xi}(x) = k_{\text{н}}(x) + k_{\text{д}}(x)$$

Необхідно конкретизувати пуассонівські спектральні щільності сигналів АЕ, що входять у попередню формулу.

Зупинимося на значенні параметру форми імпульсу $b = 3$ (експоненціальна форма імпульсу). Відповідно, пуассонівська спектральна щільність набуде наступного виду

$$k_{\xi}(x) = \lambda \tau_0 x \exp\{-\beta x/A\} E(x)$$

Таким чином, з урахуванням цього виразу, складові пуассонівської щільності моделі

$$k_{\xi}(x) = K'_{\xi}(x) = k_n(x) + k_d(x)$$

дорівнюватимуть

$$k_{\xi_n}(x) = \lambda_n \tau_{0n} x \exp\{-\beta_n x / A_n\} E(x)$$

$$k_{\xi_d}(x) = \lambda_d \tau_{0d} x \exp\{-\beta_d x / A_d\} E(x)$$

Приведемо графік (рис2.1) нормованих пуассонівських спектральних щільностей суміші неперервної та дискретної АЕ для різних співвідношень сигнал/перешкода.

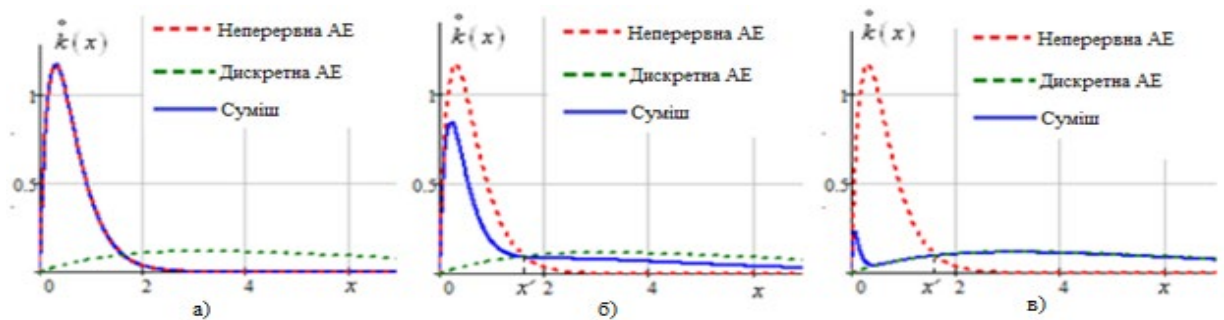


Рис. 2.1. Нормовані пуассонівські спектральні щільності сигналів АЕ при $C/P = 0,1$ (а), $C/P = 1$ (б), $C/P = 5$ (в)

Висновки до розділу 2

Для дослідження законів розподілу сигналів акустичної емісії використовується метод кумулянтного аналізу, оскільки він є ефективним для дослідження негаусівських випадкових процесів.

Характеристична функція $f_{\xi}(u)$ та твірна функція кумулянт $\phi(u)$ повністю визначаються кумулянтами k_s або пуассонівською спектральною функцією $K_{\xi}(x)$. Спектральні функції володіють властивістю адитивністю та можуть використовуватися у вигляді інформативних параметрів під час

виявлення сигналів дискретної АЕ на фоні неперервної АЕ або на фоні інших перешкод.

Відсутня єдина математична модель сигналів АЕ і недостатньо досліджені їх статистичні характеристики.

РОЗДІЛ 3. ПРИНЦИП ПОБУДОВИ АКУСТИКО-ЕМІСІЙНИХ СИСТЕМ

3.1. Типовий виявляч сигналів акустичної емісії (пороговий виявляч)

Оскільки АЕ характеризується великим числом параметрів, кожен з яких відображає будь-яку сторону динамічного процесу в твердому тілі, то апаратура, що виділяє і оброблює всі параметри, повинна бути складною і багатофункціональною. Апаратура АЕ являє собою акустико-електронні пристрої, які використовуються при виконанні АЕ контролю процесу створення, наявності та процесу розвитку дефектів в ОК [1].

Метод АЕ відноситься до акустичного виду контролю і є пасивним методом. Це визначає структуру апаратури, основними завданнями якої є прийом і ідентифікація сигналів АЕ, їх посилення, обробка, виділення і визначення значень параметрів сигналів, реєстрація та надання інформації.

Згідно ДСТУ 2374-94 [5] під акустико-емісійною апаратурою розуміють обладнання, що забезпечує приймання, обробку та реєстрації сигналів АЕ. Сучасна АЕ апаратура виготовляється на базі комп'ютерної техніки і найчастіше вбудовується в комп'ютер. Такою апаратурою є, як правило, універсальні системи, придатні для контролю різних об'єктів. Частина АЕ систем [3] представляють самостійні прилади з елементами мікропроцесорної техніки. Такі системи вирішують завдання контролю конкретних видів об'єктів і мають пристрої сполучення з персональними комп'ютерами.

Апаратуру, призначену АЕ контролю, розділяють на системи та прилади. Системи є багатоканальними пристроями, які на вигляд є сукупністю апаратних засобів, обчислювальних машин, спеціалізованого програмного забезпечення тощо.

Прилади АЕ поділяються на:

- Одноканальні;

- Двоканальні;
- Чотирьохканальні;
- Багатоканальні.

За *класом* апаратні засоби АЕ контролю поділяються на чотири класи, у відповідності до об'єму отриманої при АЕ контролі інформації.

1. Апаратура I класу – апаратура, яка забезпечує виділення, обробку, представлення та класифікацію джерел АЕ в повній відповідності до РД 03-131-97 «Правила организации и проведения акустико-эмиссионного контроля сосудов, аппаратов, котлов и технологических трубопроводов» [21]. До I класу відносяться універсальні АЕ системи.

2. Апаратура II класу - апаратура, яка не забезпечує виділення, обробку, представлення та класифікацію джерел АЕ по одному або декількома, проте не більше, ніж 25% параметрів, вказаних у [21]. До II класу відносяться прилади АЕ широкого застосування.

3. Апаратура III класу - апаратура, яка не забезпечує виділення, обробку, представлення та класифікацію джерел АЕ за 25 ... 30% параметрів, вказаних у [21]. До III класу відносяться спеціалізовані прилади АЕ.

4. Апаратура IV класу - апаратура, яка не забезпечує виділення, обробку, представлення та класифікацію джерел АЕ за більше, ніж 50% параметрів, вказаних у [21]. До IV класу відносяться вузькоспеціалізовані прилади АЕ.

Окрім цього, в залежності від *функціонального призначення* та складності виконання акустико-емісійну апаратуру можна розділити на три основні групи: прилади виробничого застосування; багатофункціональні прилади лабораторного і виробничого застосування; системи акустико-емісійного контролю. [14]

Прилади виробничого застосування зазвичай реєструють один-два параметра акустичної емісії, мають досить нескладну конструкцію і зручні в експлуатації. Ці прилади використовуються, як правило, для контролю однотипних конструкцій або процесів. Для контролю інших об'єктів або

процесів потрібно перебудова схеми. До таких приладів відносяться АРКС-01, АМУР-Д4, NDT-200, АРД-31, АРД-41 та ін.

Багатофункціональні прилади акустико-емісійного контролю являють собою блокові конструкції. Кожен блок виконує певну функцію по виділенню і реєстрації того чи іншого параметра сигналів акустичної емісії. Прикладами багатофункціональних акустико-емісійних приладів є АФ-11, АФ-15 і ін. Ці прилади дозволяють підраховувати число імпульсів АЕ, активність, інтенсивність і енергію АЕ, координати джерела при лінійної локації, розподіл амплітуд, тривалість імпульсів і ін. Багатофункціональні прилади АЕ дають можливість не тільки проводити контроль об'єктів і процесів, але також досліджувати явище акустичної емісії.

Системи контролю – найбільш складна апаратура. Принципові відмінності цих систем: багатофункціональність (4 – 50 і більше каналів); використання ЕОМ для обробки інформації. Системи являють собою розвиток багатофункціональних акустико-емісійних приладів і, так само як вони, побудовані за блоковим принципом. До них відносяться системи АФ-33 і ін.

АЕ системи мають послідовну (рис. 3.1) або паралельну (рис. 3.2) *структуру прийому і реєстрації інформації*. У першому випадку передача даних зареєстрованих сигналів до пристрою обробки йде по єдиному каналу, а у другому по незалежних каналах.

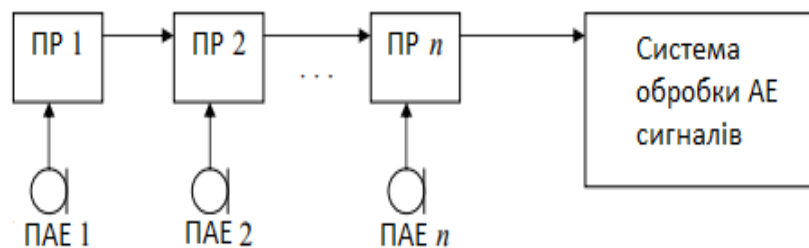


Рис. 3.1. ПАЕ – прийомні перетворювачі; ПР – пристрої реєстрації сигналів

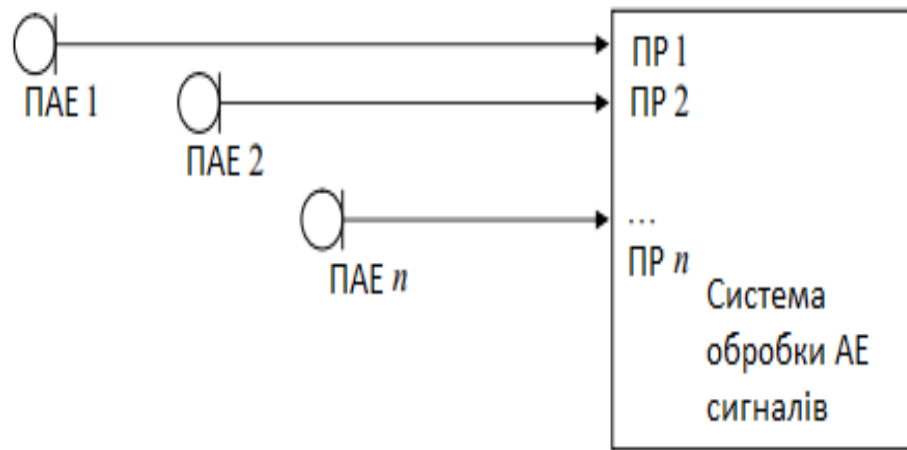


Рис. 3.2 – Структуру прийому і реєстрація інформації

Послідовні системи володіють тією перевагою, що дозволяють підключати велику кількість каналів приймаючих ПАЕ, а недоліком є істотне обмеження інформації, що передається кожним окремим прийомним каналом по єдиному кабелю. Тому такі системи мають часто елементи обробки АЕ сигналів пристроїв прямо в додаткових пристроях, що знаходяться поруч з приймаючими ПАЕ, що при контролі об'єктів складної форми буває незручно.

Паралельні системи передають інформацію на накопичувач з незалежних каналах і реєструються елементами системи, що знаходяться в її корпусі. Тому тут обмеженням є невелике число каналів, а перевагою – можливість передачі більшого обсягу інформації про кожен сигнал.

Акустико-емісійні системи діагностики в загальному випадку містять такі основні компоненти:

- Перетворювачі акустичної емісії;
- Попередні і основні підсилювачі;
- Засоби ідентифікації та обробки сигналів, включаючи порогові пристрої, пристрої виділення і вимірювання параметрів сигналів АЕ, пристрої реєстрації та подання інформації (блоки обробки сигналів акустичної емісії);
- Контролери;
- В склад апаратури АЕ також можуть входити неспецифічні елементи, блоки:

- ЕОМ;
- Параметричні канали, що передають інформацію про навантаження, температури і іншу необхідну інформацію, яка супроводжує АЕ контроль.
- Канали зв'язку (радіо і / або телефонні);
- Пристрої кріплення акустичних перетворювачів;
- Кабельні лінії тощо.

Сукупність елементів: ПАЕ → кабель, що з'єднує ПАЕ з підсилювачем, → передпідсилювач → кабель, що з'єднує передпідсилювач з основним блоком → основний підсилювач → блоки попередньої обробки АЕ сигналу – утворює АЕ канал.

Призначення підсилювача полягає в прийомі сигналу АЕ від перетворювача, підготовці сигналу для передачі в основний блок для подальшої обробки. Підсилювач повинен бути електрично узгоджений з перетворювачем АЕ, з яким він з'єднаний радіочастотним кабелем довжиною не більше 1 ... 2 м. Мета такого електричного узгодження полягає в максимізації переданої енергії сигналу АЕ і забезпеченні збільшення відношення сигнал / шум. Для зменшення електричної ємності ланцюга, що з'єднує ПАЕ з підсилювачем, останній іноді розміщують безпосередньо в корпусі перетворювача. В такому випадку перетворювач АЕ називають інтегральним, ті. інтегрованим (поєднаним) з підсилювачем.

Як правило, відстань між ПАЕ з підсилювачем і основним блоком має бути досить великим - до декількох десятків метрів. Це пов'язано з необхідністю забезпечення безпеки персоналу при проведенні випробувань об'єктів з використанням підвищеного тиску. При виконанні АЕ контролю протяжних об'єктів (великих судин, трубопроводів тощо) відстань між зазначеними елементами АЕ каналу також велике і може досягати сотень метрів.

В якості перетворювачів акустичної емісії переважно використовують п'єзоелектричні перетворювачі. При контролі виробничих об'єктів застосовують

резонансні перетворювачі акустичної емісії. При високих температурах рекомендується застосовувати магнітострикційні (до 200°C), високотемпературні п'єзоелементи (до 400°C) або хвилеводи. Ємнісні і оптичні перетворювачі рекомендується застосовувати в широкому діапазоні частот, враховуючи, що при цьому погіршується чутливість прийому в порівнянні з іншими (вузькосмуговими) перетворювачами.

У ряді випадків використовують ємнісні, оптичні (засновані на лазерних інтерферометрах) та магнітострикційні перетворювачі. Ємнісні і оптичні перетворювачі використовуються при дослідженнях АЕ в широкій смузі частот. Також вони використовуються при калібрування робочих ПАЕ. Магнітострикційні ПАЕ можуть бути використані при підвищених температурах. Існують також і п'єзоперетворювачі, що використовують високотемпературні п'єзоелементи, що працюють при температурах до 400 ° С. Для роботи на підвищених температурах можна використовувати також хвилеводи.

Роботу ПАЕ слід описувати імпульсною характеристикою, що представляє собою електричний сигнал на виході перетворювача при впливі на його робочу поверхню імпульсним акустичним сигналом, тривалість якого істотно менше періоду власних коливань перетворювача. Крім того, використовують амплітудно-частотні характеристики (АЧХ). Однак використання АЧХ без ФЧХ (фазочастотної характеристики) некоректно. Тому повинна використовуватися переважно імпульсна характеристика, оскільки вона найбільш адекватно відображає природу АЕ процесу.

Характерною особливістю апаратури АЕ є необхідність роботи у відносно великому динамічному діапазоні зміни амплітуд сигналів, що обумовлено важливістю виявлення одиничних сигналів АЕ малої амплітуди, а також необхідністю реєструвати сигнали АЕ при прискореному розвитку тріщин, для яких характерні інтенсивний потік імпульсів щодо великих амплітуд. Динамічний діапазон сигналів АЕ при виконанні контролю може досягати 100 дБ і більше.

Найбільш поширеним способом виділення сигналів АЕ з шумів є частотна фільтрація, просторова селекція і амплітудна дискримінація.

Метод частотної фільтрації найкращі результати дає при виділенні сигналу АЕ з механічних шумів. Частотний спектр механічних ударів не перевищує 200 кГц, спектр шумів тертя досягає 1 МГц. На високих частотах затухання ультразвукових хвиль значно, що обмежує дальність дії приладів АЕ. На частотах 2 ... 5 МГц дальність дії в об'єктах зі сталі не перевищує декількох десятків сантиметрів. У зв'язку з цим в більшості приладів АЕ діапазон частот обраний від 20 ... 100 кГц до 2 ... 3 МГц. Найбільш поширеним діапазоном частот при АЕ контролі судин є діапазон 100 ... 200 кГц, а для контролю трубопроводів 10 ... 60 кГц.

Аналіз відомих систем АЕ діагностики показав, що в більшості з них є порогові пристрої.

Принцип реєстрації сигналів АЕ з застосуванням порогового пристрою полягає в наступному. Після того, як сигнал був прийнятий датчиком та підсилений попереднім підсилювачем, він надходить в основну систему, де знову посилюється і фільтрується. На наступному важливому етапі відбувається безпосередньо виділення сигналу. Етап закінчується тим, що коли сигнал перевищує встановлений поріг в компараторному ланцюзі, у цифровому вигляді генерується вихідний імпульс.

Принцип реєстрації сигналів акустичної емісії проілюстрований на рисунку 3.3.

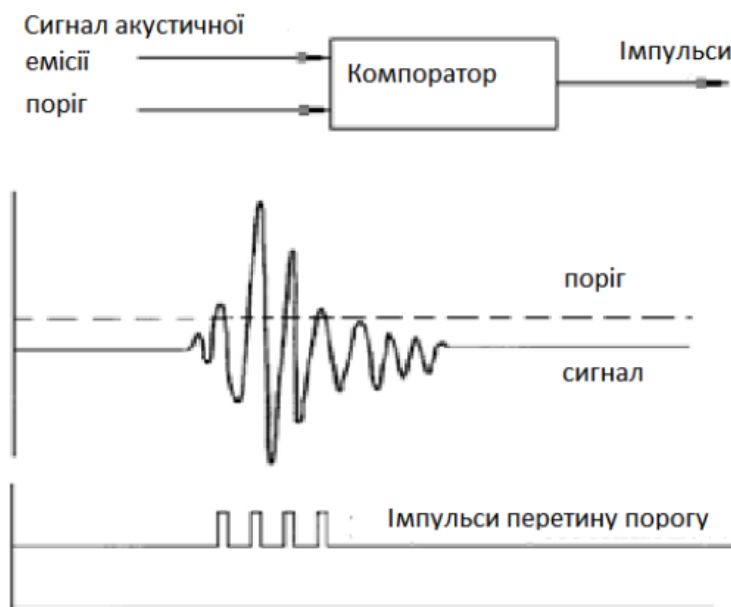


Рис. 3.3. Принцип реєстрації сигналів АЕ

Однак більша частина сигналів АЕ відсівається та втрачається значна інформація. Амплітудна дискримінація дозволяє виділяти тільки ті сигнали АЕ, які значно (на 6 ... 8 дБ) перевершують рівень шумів. Сигнали АЕ, рівень яких близький до рівня шумів, такими методами виділити неможливо.

Рівень порогу зазвичай регулюється оператором, цей параметр є ключовим, який визначає чутливість акустико-емісійного методу при випробуванні. При застосуванні порогових пристроїв велика частина сигналів акустичної емісії відсівається, таким чином, втрачається значна інформація. В результаті порогової обробки виділяються лише ті сигнали акустичної емісії, які значно (на 6-8 дБ) перевершують рівень шумів.

Обробку та аналіз сигналів акустичної емісії проводять за допомогою обраної системи класифікації джерел акустичної емісії і критеріїв оцінки результатів контролю. Перед проведенням аналізу даних проводять фільтрацію з метою видалення інформації не пов'язаної з процесами розвитку і зростання дефектів. Відомі амплітудний, інтегральний, локально-динамічний, інтегрально-динамічний методи оцінки процесів руйнування конструкцій при

акустико-емісійного контролю. Дані методи засновані на аналізі диференціальних характеристик сигналів акустичної емісії.

Узагальнену структурну схему існуючих систем виявлення сигналів дискретної акустичної емісії можна представити у вигляді (рис. 3.4).

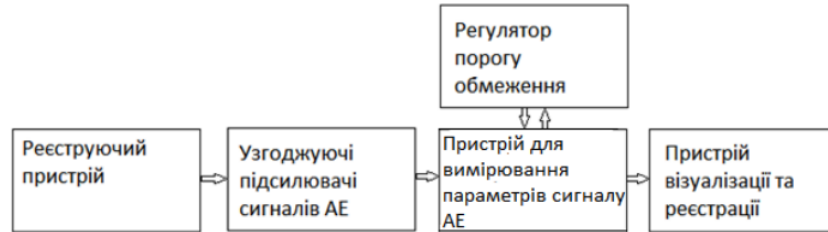


Рис. 3.4. Узагальнена схема типового порогового детектора

Розглянемо технічні дані, які характеризують роботу апаратури АЕ. Вони підрозділяються на основні (параметри і технічні характеристики) і загальні (параметри і технічні характеристики).

Основні параметри і технічні характеристики апаратури АЕ це технічні дані, які важливі для оцінки стану контролюваного об'єкта та які знаходять найбільш часте і адекватне використання в практиці АЕ-контролю. Всі інші технічні дані відносяться до розряду загальних. Основні параметри і технічні характеристики апаратури АЕ повинні бути представлені в паспорті на апаратуру і є об'єктом атестації. Вони повинні бути покладені в основу при виконанні:

- Сертифікаційних випробувань апаратури АЕ;
- При випробуваннях на затвердження;
- При випробуваннях в процесі проведення експертизи з метою отримання дозволу на виготовлення та застосування засобів АЕ-контролю тощо.

- До основних параметрів і технічних характеристик апаратури АЕ відносяться:

- Рівень власних шумів підсилювального тракту $U_{ш}$;
- Амплітудний динамічний діапазон;

- Амплітудно-частотна характеристика (АЧХ);
- Діапазон робочих частот;
- Максимальна швидкість обробки імпульсів АЕ;
- Число каналів апаратури;
- Перелік вимірюваних параметрів сигналу АЕ;
- Перелік встановлюваних параметрів апаратури АЕ тощо.

Загальними параметрами і технічними характеристиками є:

- Напруга електричного живлення;
- Споживана потужність;
- Кліматичні і технічні умови роботи апаратури (вологість, температура і ін.);
- Маса апаратури;
- Габаритні розміри апаратури і окремих блоків;
- Число блоків апаратури тощо.

3.2. Аналіз сучасних акустико емісійних систем

Розглянемо моделі серійновипускаємих та сертифікованих промислових АЕ систем, які представлені в табл. 3.1.

Табл. 3.1. Промислові АЕ системи

Модель	Виробник	Країна виробника	Рік створення
A-Line 32D	Интерюнис-ИТ	Росія	2005
AMSY-5	Vallen System	Німеччина	2010
DiSP	Physical Acoustic Corporation	США	2012
Эксперт-2014	НПО Алькор	Росія	2014

Комплекти систем конфігуруються індивідуально під завдання контролю, виходячи з їх характеристик: частотний діапазон, рівень шуму, кількість каналів тощо.

В процесі випробувань реєструється величезна кількість інформації різного походження (як правило, більше 10000 записів). Ухвалення рішення відбувається після ретельного аналізу цих даних. Тому найважливіше значення має якість і можливості програмного забезпечення (ПО), що дозволяють за мінімальний час розібратися в накопиченій інформації, проаналізувати її, і видати рішення щодо подальшої експлуатації об'єкта. Вимоги до технічних характеристик АЕ апаратури наведені в РД 03-299 [21].

A-Line 32D. АЕ системи A-Line 32D 2005 року, використовуються для проведення акустико-емісійного контролю на виробничих майданчиках, де технологічне обладнання піддається впливу сторонніх зовнішніх джерел шуму, а також для контролю трубопроводів. Даний тип систем був розроблений безпосередньо для вирішення завдань по перешкодозахищеності і контролю протяжних об'єктів.

Особливості A-Line 32D:

- Безперервне отримання всіх даних про хід випробування в режимі реального часу;
- Вибухозахисне виконання;
- Можливість автоматично управляти процесом випробування;
- Вся обробка отриманої інформації та обчислення АЕ параметрів відбувається безпосередньо в модулі, розташованому на об'єкті контролю, передача оброблених даних здійснюється в цифровому вигляді, забезпечена гальванічна розв'язка кожного модулю;
- Контроль протяжних об'єктів сумарною довжиною до 5 км одночасно однією портативною системою;
- Використання системи, як для мобільного періодичного контролю, так і для стаціонарного безперервного контролю (моніторингу) з можливістю управління об'єктом

- Продовжує успішно функціонувати, відображати дані і не втрачати управління при інтенсивності понад 15 тисяч подій на кожен канал;
- Регульований коефіцієнт посилення;
- Програмно-перемикаючі фільтри, режим випромінювання імпульсів, цифровий осцилограф з можливістю установки незалежного порога і регульованою рядків, три параметричні канали з можливістю переконфігурування у виходи управління, температурний датчик, двоколірний індикатор стану модулю АЕ, – і все це для кожного з каналів.
- Програмне забезпечення, реалізоване в середовищі Windows російською мовою, загальне для всіх приладів серії A-Line 32D.

Акустико-емісійна система A-Line 32D (рис. 3.5 – 3.7) може бути представлена в різних виконаннях і комплектаціях в залежності від кількості каналів (8, 12, 16) і виконання основного блоку (Ethernet Box, Portable).



Рис. 3.5. Акустико-емісійна система A-Line 32D (PCI-8)

Розглянемо комплектацію 8-канальної системи A-Line 32D (PCI-8):

- Блок збору і обробки даних 1 шт.
- Предусилитель ПАЕФ з магнітним утримувачем 8 шт.
- Перетворювач GT200 з магнітним утримувачем 8 шт.
- Кабель РК-50 (100 м) на котушці 8 шт.
- Косичка для підключення кабелю до комп'ютера 1 шт.

- Ноутбук (поставляється тільки для комплексів з Ethernet Box) 1 шт.
- Програмне забезпечення та керівництво користувача (CD).
- Паспорт.



Рис. 3.6. Акустико-емісійна система A-Line 32D (PCI-8E)



Рис. 3.7. Акустико-емісійна система A-Line 32D (DDM)

Варіанти виконання:

- A-Line 32D (PCI-8) (8 каналів) Portable.

- A-Line 32D (PCI-8) (8 каналів) Ethernet Box.

AMSY-5. Система AMSY-5, 2010 року розробки, являє собою багатоканальну цифрову універсальну автоматизовану систему збору та обробки акустико-емісійної інформації, одержуваної з досліджуваного об'єкта від ПАЕ в реальному масштабі часу. Кожен канал включає в себе блок аналогових вимірювань, блок цифрової обробки сигналу і блок зв'язку із зовнішнім універсальною обчислювальною машиною з повним набором периферійних пристроїв. Аналоговий вимірювальний ланцюг кожного каналу складається з ПАЕ з інтегрованим малoshумливим передпідсилювачем і плати акустичного сигнального препроцесора ASIPP, яка встановлюється в корпусі системи. ПАЕ приймає хвилі напруги, що поширюються в конструкції, і перетворює їх в електричний сигнал, який потім посилюється інтегрованим в ПАЕ передусилителем. У блоці ASIPP сигнал АЕ, що надходить з передпідсилювача, перетворюється в потік цифрових даних.

Крім каналів збору даних АЕ для запису величин зовнішніх параметрів, таких як навантаження, температура, переміщення та ін., Для полегшення їх кореляції з даними АЕ до складу систем AMSY-5 входить до 8 параметричних входів в блоці спеціальних функцій.

Дані АЕ, а також параметричні дані, такі як навантаження, температура деформації і т.д., передаються через шину блоку ASIPP в блок контролера АЕ системи, де формуються масиви даних. Всі масиви даних тимчасово зберігаються в пам'яті блоку контролера, а потім, під керуванням програми збору даних передаються в файл АЕ на жорсткий диск зовнішньої універсальної ЕОМ.

Система AMSY-5 має три варіанти виконання: шестиканальний, шістнадцятиканальний і тридцятисемиканальний.

Особливості системи AMSY-5:

- Найвища швидкість: швидкість реєстрації АЕ сигналів більше 30000 автоматичної експозиції-подій/сек, с повним налаштуванням зібраних даних, їх фільтрацією, сортуванням за часом і записом на жорсткий диск.

- Висока продуктивність: високопродуктивна система обробляє 420 мільйонів операцій в секунду, призначена для визначення АЕ-параметрів в реальному масштабі часу.



Рис. 3.8. Приклад системи AMSY-5

- Зручність користувача:
- Міцні та надійні роз'єми: BNC-роз'єми на основному блоці, зовнішній підсилювач і параметричних входних каналах забезпечують легкий доступ і з'єднання.
- Індикація: індикація на передній панелі, дає інформацію про стан системи, таку як: перетин порогу, пошкодження кабелю (відсутність під'єднання підсилювача до системи), включення режиму калібрування, очищення / заповнення буферу, активація / блокування режиму реєстрації і т.д.

- Автонастройка: при включенні системи вона автоматично визначає кількість підключених блоків AMSY-5, кількість каналів і пропонує відповідні налаштування.
 - Визначення дійсної енергії: Мікросхема перемножувача, забезпечує квадратування оцифрованих значень і накопичення в реальному масштабі часу значень істинної енергії сигналів, а також їх середньоквадратичних значень.
 - Висока гнучкість: використання декількох блоків AMSY-5: кілька блоків AMSY-5 можуть бути об'єднані в одну систему до 254 повністю незалежних каналів.
 - Керуючий комп'ютер: може бути використаний будь-який тип керуючого комп'ютеру: промисловий захищений ноутбук, звичайний ноутбук з док станцією, персональний настільний комп'ютер і т.д.
 - Простота підвищення робочих характеристик комп'ютера: керуючий комп'ютер може бути легко модифікований з метою підвищення його характеристик без втручання в основну систему.
 - Функція автокалібрування: автоматичне калібрування системи, генератор імпульсів (або набору імпульсів), з розмахом по напрузі до 400 В.
 - Цифрові параметричні входи: 2, 4 або 8 ізолюваних параметричних входів для аналогових сигналів (16-розрядний АЦП, діапазон сигналів ± 10 В або ± 1 В) використовуються для реєстрації, записи і подальшого аналізу навантажень, таких як: температура, тиск і ін.
 - Функція аудіомоніторингу: блок безперервного автоматичного аудіоконтролю з вбудованим гучномовцем, для індикації приходу АЕ-сигналів за обраними каналами.
 - Програмне забезпечення: програмне забезпечення для збору сигналів акустичної емісії і їх аналізу розроблено під Windows 2000 та XP.
 - Багатозадачність.
- Області застосування акустико-емісійної системи AMSY-5:
- Обстеження судин високого тиску і трубопроводів.

- Обстеження корпусів літаків, об'єктів з металів і композитних матеріалів.
- Обстеження куполоподібних споруд, наземних сховищ, мостів та ін.
- Обстеження об'єктів з армованих пластику і кераміки.
- Дослідження втомних характеристик матеріалів.
- Геотехнічні обстеження.
- Позиціонування часткових розрядів в трансформаторах і безліч інших областей застосування.

DiSP. Акустико-емісійні системи призначені для вимірювання параметрів сигналів АЕ в процесі акустико-емісійних обстежень: амплітуди, тривалості, часу наростання сигналу, енергії АЕ.

Кожен канал АЕ-систем DiSP включає в себе блок аналогових вимірювань, блок цифрової обробки сигналу і блок зв'язку із зовнішнім універсальною обчислювальною машиною з повним набором периферійних пристроїв. Аналоговий вимірювальний ланцюг кожного каналу складається з ПАЕ і плати акустичного сигнального препроцесора. ПАЕ приймає хвилі механічної напруги, що поширюються в об'єкті контролю, і перетворює їх в електричний сигнал, який потім посилюється інтегрованим або зовнішнім підсилювачем. У блоці акустичного сигнального препроцесора сигнал АЕ, що надходить з передпідсилювача, перетворюється в потік цифрових даних.

АЕ-система має аналогові входи для вимірювання додаткових параметрів – тиску і температури.

АЕ-система DISP комплектується на вимогу замовників індустріальними шасі в різних виконаннях типу IRB (Iron Box) і LB (Lanch Box) з кількістю каналів 4, 8, 16, 24, 32, 48 і 56 до 256.

У системному блоці розташовуються каналні плати PCI-DSP4, вбудований PC комп'ютер, класу Pentium4, периферійні та інші пристрої. Укомплектована АЕ-система включає в себе системний блок з платами PCI-DSP4, кабельні лінії, попередні підсилювачі, до входів яких підключаються прийомні акустичні перетворювачі або інтегральні акустичні перетворювачі (з

вбудованими підсилювачами). В системі можуть використовуватися такі ПАЕ виробництва "PHYSICAL ACOUSTICS CORPORATION ", США: R15, R6, R3, R15I, R6I, R50I, WDI.

На рис. 3.9 представлені фотографії загального вигляду АЕ-систем DiSP.

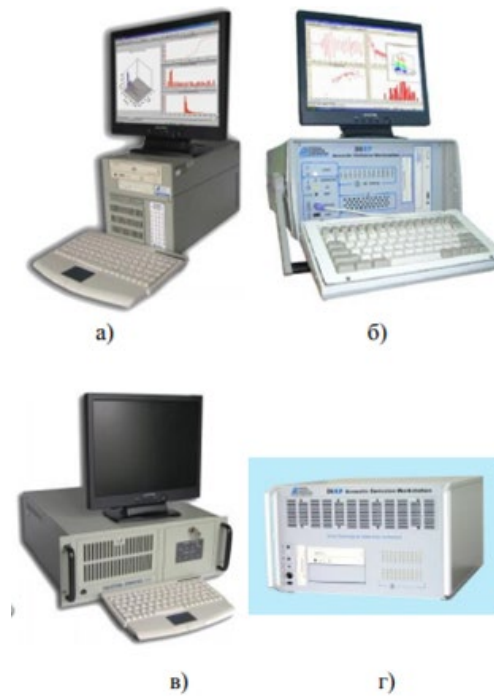


Рис. 3.9. Загальний вигляд АЕ-системи: а) DiSP-16; б) DiSP-24; в) DiSP-40; г) DiSP-56;

«Експерт-2014». Портативні акустико-емісійні діагностичні комплекси «Експерт-2014» (рис. 3.10) мають наступні основні застосування:

- Акустико - емісійний контроль судин, резервуарів, трубопроводів, запірної арматури, реакторів, ректифікаційних колон, теплообмінників, мостів, кранів та інших конструкцій, в тому числі без виведення об'єктів контролю з експлуатації;
- Оцінка технічного стану об'єктів при гідравлічних (пневматичних) випробуваннях;
- Виявлення тріщин, пор, включень, раковин, корозії, водневої крихкості, витоків і інших дефектів;
- Діагностика прихованих поверхонь.

Серед основних переваг виділяють:

- Число точок контролю за 1 цикл навантаження - не обмежена.
- Температура контролюваного об'єкта - від -120°C до $+700^{\circ}\text{C}$.
- Спеціально розроблені для діагностики «на режимі» ПАЕ.
- Відпрацьовані конструкції вузлів кріплення до об'єктів контролю.
- Портативність.
- Надійність
- Можливість синхронізації окремих комплексів в єдину систему.



Рис. 3.10. Зразок портативного діагностичного комплексу «Експерт-2014»

Число каналів визначає можливості апаратури і область її застосування. Одноканальна апаратура знаходить своє застосування у контролі об'єктів обмежених розмірів та при відсутності сторонніх шумів (або їх мінімуму). При виконанні даних умов апаратура може бути використана для виявлення тріщин на зразках матеріалів та стеження за її розвитком. В експлуатаційних умовах одноканальна апаратура може бути застосована для попередньої оцінки рівня шуму в різних точках контролюваного об'єкта.

Двоканальна апаратура розширює сферу застосування АЕ і робить можливим контроль об'єктів протяжної форми, з одночасним визначенням лінійних координат дефекту. Наявність двох каналів забезпечує також

найпростіший вид просторової фільтрації сигналів акустичної емісії, яка використовується при контролі натурних об'єктів в умовах експлуатації при наявності джерела шуму.

Трох- і більш канална апаратура розширює можливості методу акустичної емісії. При цьому з'являється можливість контролю об'єктів як одноканальних і двоканальних. Це означає, що можна здійснювати контроль безпосередньо в зоні поздовжнього або поперечного шва ОК, ігноруючи всі сигнали, що надходять з інших областей об'єкта. Враховуючи дальність дії стандартних датчиків акустичної емісії, що становить близько 50 м і довжини приблизно 100 ... 125 м, що з'єднує датчик акустичної емісії з основним підсилювальним блоком, можна з упевненістю сказати, що в якості базового модуля апаратури акустичної емісії для контролю трубопроводів досить мати 4-х каналний модуль, який може обслужити нитку газопроводу довжиною 200 ... 300 м, посудину тиску діаметром 2 ... 3 м і висотою 10 м.

Однак, в зоні контролю можуть спостерігатися джерела шуму, обумовлені конструктивними особливостями ОК і для їх локації будуть потрібні додаткові канали. Тому базовий універсальний модуль повинен містити до 8 каналів.

Для контролю трубопроводів великої протяжності (до 1000 м) буде потрібно кілька таких комплексів. Не менша кількість каналів може знадобитися для контролю судин тиску великої ємності, що мають різноманітні конструктивні нерегулярності, розкидані по корпусу посудини.

Коефіцієнт посилення і динамічний діапазон підсилювача необхідно розглядати одночасно, так як ці параметри тісно пов'язані між собою.

Частотний діапазон апаратури вибирається з міркувань захисту від зовнішніх перешкод, максимальної прозорості акустичного тракту, що залежить від матеріалу виробів, виду дефекту.

Нижня межа частотного діапазону лежить в області 20 ... 50 кГц. При цьому результати вимірів захищені від впливу механічних шумів, пов'язаних з роботою насосів, кранів тощо. Для АЕ вимірювань на трубопроводі частотний діапазон лежить в межах 20 ... 300 кГц.

Параметричний вхід служить для підключення до апаратури датчиків, що перетворюють параметри – тиск, температуру, силу і інші – в електричний сигнал. Необхідність параметричних вимірів пояснюється тим, що події акустичної емісії виникають і супроводжуються за рахунок зміни в часі згаданих вище тиску, сили тощо, які впливають на ОК, тому інформаційний АЕ параметр – сума імпульсів, їх інтенсивність і енергія, тривалість імпульсів тощо –, розглядається тільки в сукупності з характером зміни параметричних сигналів.

Ця обставина набуває особливої важливості в тих випадках, коли ведуться гідравлічні або пневматичні випробування ОК з використанням АЕ методу і є реальна ймовірність руйнування конструкції в процесі самого навантаження. Типова апаратура акустичної емісії, таким чином, повинна мати один або два параметричних входу з нормованим рівнем напруг вхідного сигналу 5 або 10 В.

Пороговий пристрій є обов'язковим елементом апаратури акустичної емісії, так як в будь-якому випадку на вхід апаратури (поряд з корисними сигналами) може надходити і шум, викликаний експлуатаційними і технологічними причинами. В апаратурі повинна бути передбачена регулювання рівня обмеження.

Первинні перетворювачі АЕ можуть бути різного типу в залежності від розв'язуваних завдань. Їх характеристики повинні бути узгоджені з робочим діапазоном контролю. Часто для контролю використовуються широкосмугові первинні перетворювачі акустичної емісії. Цей тип датчиків може використовуватися в тому випадку, коли частотні характеристики

контрольованого об'єкта не вивчені. Їх практичне застосування обмежене тим, що вони мають більш низьку чутливість, ніж вузькосмугові і тим більше резонансні, і крім того, мають високу вартість.

У табл. 3.2 наведені основні технічні характеристики аналізованих АЕ систем.

Табл. 3.2. Основні технічні характеристики АЕ-систем

Параметр	A-Line 32D	AMSY-5	DiSP	Експерт-2014
Зареєстровані параметри	Канал, час реєстрації, амплітуда, енергія, кількість осциляцій, тривалість, час наростання RMS імпульсу, RMS шуму, каскадні імпульси, рахунок, енергія, поріг обмеження, абсолютна енергія додаткові прапори	Канал, час реєстрації, амплітуда, енергія, тривалість, кількість перетинів порога всередині АЕ сигналу, додаткові прапори	Канал, час, амплітуда, енергія, кількість осциляцій, тривалість, час наростання RMS, ASL поріг обмеження, середня частота, частота реверберації, частота початкової частини імпульсу, рівень сигналу, енергія	Канал, час, енергія, тривалість, число викидів імпульсу, число викидів до піку, амплітуда, середнє значення імпульсу, середньоквадратичне значення імпульсу, поріг дискримінації
Кількість каналів у блоці	64	36 (до 254)	8-52	4-64
Спосіб обробки АЕ сигналів	Цифровий на FPGA	Цифровий на FPGA та DSP	Цифровий на FPGA та DSP	Цифровий
Частотний діапазон	1 кГц – 0,5 МГц	10 кГц – 2 МГц	10 кГц – 2,1 МГц	5 кГц – 0,6 МГц (до 2 МГц)
Параметри	16 біт, 2 МГц	16 біт, 10	16 біт, 10	-

АЦП		МГц	МГц	
Динамічний діапазон	84 дБ	82 дБ	82 дБ	80 дБ
Рівень власних шумів	5 мкВ	3 мкВ	3 мкВ	3 мкВ
Наявність параметричних входів	так	так	так	Так
Кількість реєструючих актів в секунду	15000	30000	10000	5000
Віддалене управління	ні	так	так	так
Середовище роботи	Windows95, 98	Windows 2000, XP	DOS, Windows	Windows NT, 2000
Наявність трьовимірної графіки	ні	так	так	-
Можливість оновлення через Internet	так	так	ні	-
Можливість виводу параметричних даних на графік	так	так	так	так
Типи локації	лінійна, планарная, циліндричних судин, сферичних судин, днища резервуарів	лінійна, площинна, циліндрична, сферична, на днищах судин, об'ємна при довільному розташуванні датчиків	Зонна, лінійна, площинна, сферична і об'ємна, точковий і кореляційний спосіб локації	зонная, лінійна, прямокутна, трикутна, днище, довільне розташування датчиків, локація в умовах великій швидкості реєстрації даних з урахуванням загасання

Висновки до розділу 3

У третьому розділі були проаналізовані класифікації акустично-емісійних систем. Був досліджений типовий пороговий виявляч сигналів акустичної емісії та його особливості застосування. Були проаналізовані основні компоненти акустико-емісійних систем та описані їх особливості.

В процесі обробки АЕ даних важливе місце займає якість, продуманість і можливості програмного забезпечення. У програмному забезпеченні АЕ систем різних фірм на ряду зі стандартними опціями реалізовані додаткові функції, що забезпечують більш складний і глибокий аналіз акустико-емісійних даних.

Під час дослідження було досліджено було проаналізовано акустично-емісійні системи попередніх років та одні з тих, що використовуються у сучасному світі на промислових об'єктах.

Результати порівняння «старих» акустико-емісійних систем з більш сучасними, згідно наведених даних у табл. 3.2, наступні:

- збільшення робочого частотного діапазону;
- зменшення значення рівню власних шумів;
- поява можливості віддаленого управління;
- модернізація середовища роботи акустико-емісійної системи;
- поява роботи з трьовимірною графікою;
- збільшення числа кількості реєструючих актів в секунду;
- збільшення числа типів локації.

ВИСНОВКИ

Під час аналітичного огляду літератури було розглянуто поняття акустичної емісії, основні положення її методу, виконання основних умов для появи АЕ, алгоритм основних операцій контролю будь-якого об'єкта чи моніторингу процесу, варіанти поєднання з іншими методами неруйнівного контролю.

Було досліджено, що існуючі сучасні системи та методи акустико-емісійної діагностики спираються на отриманні дані від проведення аналізу вихідних сигналів дослідженою акустичною емісією.

Вході дослідження та роботи над даним поставленим завданням, було встановлено, що з фізичної точки зору акустична емісія представляє із себе процес генерації і поширення пружних хвиль напруги в твердих тілах, викликаних локальною динамічною перебудовою їх структури під дією напружень, створюваних зовнішнім навантаженням. Джерела акустичної емісії є точковими і випромінюють поодинокі імпульси.

У даній роботі було проаналізовано та розглянуто багатоканальні акустико-емісійні системи, які генеруються через раптову деформацію напруженого матеріалу та підсумуємо це представленою порівняльною таблицею сучасних систем. А також, які засновані на явищі поширення пружних коливань (акустичних хвиль).

Можна відмітити, що зазвичай акустико-емісійні системи застосовуються при контролі небезпечних виробничих об'єктів – від балонів малих обсягів до складних технічних систем будь-якої галузі промисловості. Тому основна мета АЕ-системи визначати стан об'єкта за один цикл випробувань, незалежно від розмірів і протяжності об'єкта.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Основы неразрушающего контроля методом акустической эмиссии : учеб. пособие / С. А. Бехер, А. Л. Бобров. — Новосибирск : Изд-во СГУПС, 2013. — 145 с.
2. Акустическая эмиссия и ее применение для неразрушающего контроля в атомной энергетике / Под ред. К.В. Вакара. М.: Атомиздат, 1980.
3. Акустико-эмиссионная диагностика конструкций / А.Н. Серьезнов, Л.Н. Степанова, В.В. Муравьев и др. / Под ред. Л.Н. Степановой. М.: Радио и связь, 2000. 280 с.
4. Диагностика объектов транспорта методом акустической эмиссии / А.Н. Серьезнов, Л.Н. Степанова, В.В. Муравьев и др.; Под ред. Л.Н. Степановой, В.В. Муравьева. М.: Машиностроение, 2004. 368
5. ДСТУ 2374-94 Розрахунки на міцність та випробування технічних виробів. Акустична емісія. Терміни та визначення.
6. Марасанов В.В., Шарко О.В., Шарко А.О. Статистична обробка сигналів акустичної емісії та їх параметрів. Вісник Національного університету "Львівська Політехніка", с. 98-107. 2016.
7. Исакович М.А. и др. Устранение вибрации электрических машин. М.: Энергия, 1967
8. Неразрушающий контроль и диагностика: Справочник / В.В. Клюев, Ф.Р. Соснин, В.Н. Филинов и др. / Под ред. В.В. Ключева. М: Машиностроение, 1995. 448 с.
9. Гольдин А.С., Львов М.И., Урьев А.В. Тепловые деформации гибких роторов в подшипниках скольжения. М.: Энергомашиностроение. 1983. №5.
10. Горовецкая Т. А., Красильников А. И. Кумулянтный анализ $1/f$ шума // Электроника и связь. – 2007. – № 6 (41). – С. 5–18.
11. Буйло С.И. Физико-механические и статистические аспекты повышения достоверности результатов акустикоэмиссионного контроля и

диагностики. – Ростов-на-Дону: Изд-во Южного федеральн. ун-та, 2008. – 192 с. 3.

12. Дробот Ю. Б., Лазарев А. М. Неразрушающий контроль усталостных трещин акустико-эмиссионным методом. – М.: Изд-во стандартов, 1987. – 128 с.

13. Чан Хыу Дат. Исследование вероятностных характеристик акустических флуктуационных сигналов: дис. ... канд. физ.-мат. наук: спец. 01.04.06 “Акустика” / Национальный технический ун-т Украины. – К., 1999. – 176 с

14. Неразрушающий контроль: справочник: в 8 т. / Под общ. ред. В. В. Ключева. Т. 7: В 2 кн. – Кн. 1: В. И. Иванов, И. Э. Власов. Метод акустической эмиссии. Кн. 2: Ф. Я. Балицкий, А. В. Барков, Н. А. Баркова и др. Вибродиагностика. – 2-е изд., испр. – М.: Машиностроение, 2006. – 829 с.

15. Красновский Р. О., Чернопыжский М. В. Современные методы и средства измерения акустической эмиссии: Обзорн. информ. – М.: ВНИИКИ, 1987. – 64 с.

16. Рытов С. М. Введение в статистическую радиофизику. Часть I. Случайные процессы. – М.: Наука, 1976. – 496 с.

17. Тихонов В.И. Статистическая радиотехника. М., Радио и связь, 1982, 624с.

18. Красильников А.И. Модели шумовых сигналов в системах диагностики теплоэнергетического оборудования. К., Ин-т технической теплофизики НАН Украины, 2014, 112 с.

19. Гармаш О.В. Модель и вероятностные характеристики сигналов акустической эмиссии – Электроника и связь, Т. 21, №5 (94), 2016, С. 77–83.

20. Гнеденко Б. В. Курс теории вероятностей: учебник. – 8-е изд., испр. и доп. – М.: Едиториал УРСС, 2005. – 448 с.

21. РД 03-299–99. Требования к акустико-эмиссионной аппаратуре, используемой для контроля опасных производственных объектов. М. 2009, 18 с.