

¹В.А. Глива, ¹М.І. Делас, ²Б.М. Єременко¹Національний авіаційний університет, Київ²Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

НЕПЕРЕРВНИЙ АКУСТИЧНИЙ КОНТРОЛЬ ТА ІДЕНТИФІКАЦІЯ ТРІЩИНОУТВОРЕННЯ В МЕТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЯХ

Запропоновано систему контролю та ідентифікації тріщиноутворення в металевих конструкціях, що ґрунтується на реєстрації сигналів акустичної емісії і струмів витoku. Розроблена система дає змогу здійснювати контроль стану конструкцій у важкодоступних і недоступних місцях, накопичувати і обробляти зареєстровані сигнали в неперервному режимі та попереджати про наближення їх значень до критичних рівнів.

Ключові слова: *неруйнівний контроль, ідентифікація тріщиноутворення, акустична емісія, струми витoku*

Предложена система контроля и идентификации трещинообразования в металлических конструкциях, работа которой основана на регистрации сигналов акустической эмиссии и токов утечки. Разработанная система позволяет контролировать состояние конструкций в труднодоступных и недоступных местах, накапливать и обрабатывать зарегистрированные сигналы в непрерывном режиме, и предупреждать о приближении их значений к критическим уровням.

Ключевые слова: *неразрушающий контроль, идентификация трещинообразования, акустическая эмиссия, токи утечки*

The paper proposed a system of monitoring and identification of cracking in metal structures, whose work is based on the registration of acoustic emission signals and leakage currents. The developed system allows monitoring of structures in remote and inaccessible locations, store and process the recorded signal in continuous mode and warning of the approach of their values to critical levels.

Keywords: *non-destructive control, identification of fracture, acoustic emission, currents of loss*

Вступ

Актуальним напрямком підвищення техніко-економічних показників ефективності експлуатації металевих конструкцій різного призначення є забезпечення захисту конструкцій від раптових руйнувань, що дозволяє підвищити надійність і безпечність їх експлуатації та продовжити терміни функціонування. Недостатнім стає застосування традиційних планових оглядів, які забезпечуються використанням сучасних методів і засобів технічної діагностики [1]. Замість них, на перший план впливає задача безперервного контролю фактичного стану елементів конструкцій. Особливо це стосується конструкцій, що розташовані у недоступних або важкодоступних місцях. Перевага акустичних методів полягає в тому, що акустичні хвилі здатні проникати всередину об'єкта.

Це дає змогу виявляти дефекти не лише на поверхні, а й всередині будівельного об'єкта.

Аналіз сучасного стану проблеми

Основними факторами негативного впливу на характеристики міцності металевих конструкцій під час їх експлуатації є механічні, термічні та корозійні процеси, що і призводять до тріщиноутворення внаслідок втоми металу. При цьому головною причиною корозійних ушкоджень є електрокорозія, що виникає в результаті неконтрольованого протікання електричних струмів (струми витoku) їх елементами [2].

Накопичені експериментальні дані та теоретичне обґрунтування зв'язку між тріщиноутворенням та частотними і амплітудними параметрами акустичної емісії [3; 4] свідчать про можливість надійного діагностування зароджування утомних і корозійних тріщин та періодів їх

активного розвитку у металевих конструкційних матеріалах, а також реєструвати неконтрольовані струми витоку без порушення їх цілісності.

Метод акустичної емісії є одним з найбільш прийнятних методів неруйнівного контролю. На відміну від інших, за методом акустичної емісії енергія виділяється із самого матеріалу і не потребує подачі у контрольований елемент конструкції тестових сигналів. Тому її легше інтерпретувати, ніж сигнали, які виникають у разі збурення ззовні, або застосування методів ультразвукової дефектоскопії та радіографії [5]. Окрім того, акустична емісія не оперує шкідливими для людей випромінюваннями. Проте, більшість досліджень та розробок щодо використання цього методу стосуються споруд та конструкцій спеціального призначення [6] й регламентуються національними і міждержавними нормативами з неруйнівного контролю та моніторингу будівельних конструкцій [7; 8].

Більшість методик виявлення дефектів спрямовані на локалізацію джерел тріщиноутворень і використовують обладнання та багатоканальну апаратуру, що призначені для здійснення періодичного контролю конструкцій. Такі засоби потребують переміщення обладнання в межах об'єкта [9] і не забезпечують безперервний контроль параметра фізичного стану металоконструкцій. До того ж вони не прийнятні для використання у важкодоступних та недоступних місцях.

Постановка задачі

В Україні значна кількість будівель, об'єктів промислового призначення та виробничого обладнання експлуатується за умов, близьких до граничних. Тому все актуальнішою стає задача своєчасного виявлення небезпечних для міцності конструкцій дефектів типу тріщин за умов деградації матеріалу, що відбувається внаслідок тривалої їх експлуатації під дією механічних та корозійних чинників і фізичних полів. Розв'язання цієї задачі потребує розробки простих в експлуатації та маловитратних засобів безперервного контролю фізичного стану металевих конструкцій, особливо тих, що перебувають під значним циклічним навантаженням і не обладнані засобами катодного захисту від електрокорозії.

Мета роботи

Метою даної статті є розробка автоматизованої системи безперервного автоматичного контролю фізичного стану металевих конструкцій, що ґрунтується на реєстрації струмів витоку та сигналів акустичної емісії в елементах конструкцій і здатна одночасно накопичувати, візуалізувати, обробляти зареєстровані сигнали та повідомляти про їх наближення до критичних рівнів.

Виклад основного матеріалу

Попередні дослідження і розробки [10] довели можливість високоточної (відносна похибка до 3%) реєстрації рівнів магнітних полів промислової частоти 50 Гц та її гармонік і звукового тиску за допомогою персонального комп'ютера, що укомплектований високоякісною звуковою картою, і спеціальними датчиками без використання додаткових підсилювачів та аналого-цифрових перетворювачів. Такий підхід знижує імовірність появи електричних завод з боку додаткових пристроїв у вимірювальному тракті та спрощує процедуру ідентифікації сигналів. Обладнання, що використовується для контролю та ідентифікації тріщиноутворення в металевих конструкціях, складається з датчиків магнітного поля, за змінами якого реєструються характеристики електрострумів, датчиків акустичної емісії, з'єднаних лініями зв'язку з персональним комп'ютером, який працює під управлінням операційної системи сімейства *Windows* і має програмне забезпечення для аналізу частотного спектра та інтерфейс для візуалізації отриманої інформації.

Струми витоку, що протікають елементами контрольованої конструкції, реєструються таким чином. Ферорезонансний датчик магнітного поля [10] закріплюється на поверхні конструкції без гальванічного контакту з нею і лінією зв'язку, через стандартний розмикач, під'єднується до лінійного входу звукової карти (*Line-IN*). У звуковій карті сигнали відцифровуються і аналізуються програмою аналізу частотного спектра (*Spectrogram*). Для калібрування датчиків використовуються відповідні генератори. Параметри електроструму визначаються автоматично із фундаментальних співвідношень між рівнями магнітних полів та електрострумів, що їх генерують, і візуалізуються на екрані відеомонітора у координатах «частота» – «сила струму».

Для підвищення достовірності вимірювань урахують вплив магнітного фону у місці проведення контролю. Найбільш ефективним засобом захисту від такого впливу є екранування датчиків. Для цього застосовуються спеціальні екрануючі матеріали – листовий пермалой та аморфні металеві сплави. Реєстрація сигналів акустичної емісії виконується за майже аналогічною схемою [11]. Датчик акустичної емісії (ДАЭ – 002Р, GT200) закріплюється на попередньо зачищеній поверхні металевої конструкції за допомогою акустопрозорого клею «Шмель» чи механічно, з використанням акустопрозорої субстанції, в якості якої підходить епоксидна смола без затверджувача. Лінією зв'язку датчик підключається через стандартний рознімач до мікрофонного входу звукової карти (Mic), де сигнали відцифровуються. Наступним кроком є обробка отриманих сигналів тією ж програмою аналізу частотного спектра та їх відображення на екрані відеомонітора у координатах «частота» – «амплітуда» (рисунок).

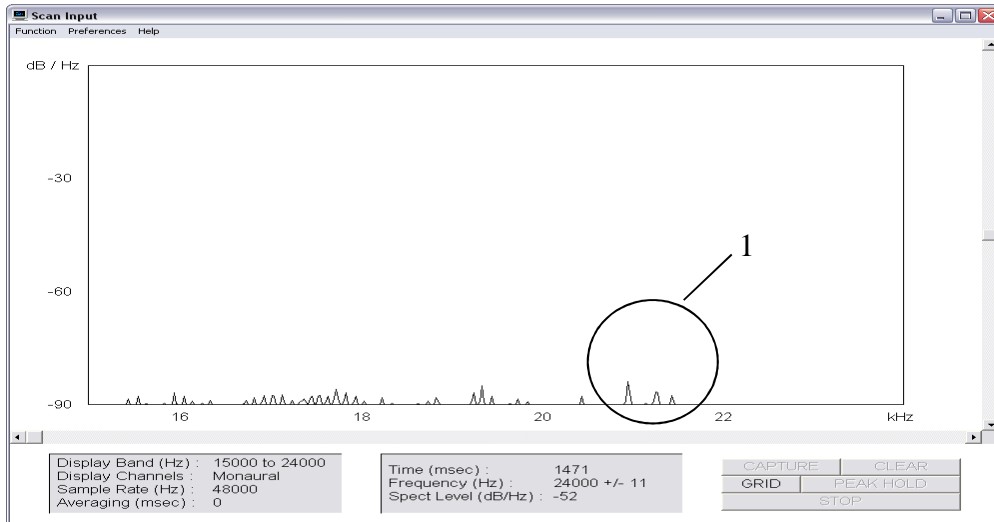


Рисунок. Акустограма циклічно навантаженої сталі 30 ХГС: 1 – сигнали тріщино утворення

Розроблено програмне забезпечення для обробки та аналізу частотного спектра отриманих сигналів (*Spectrogram 12*), та реалізовано базу даних, для накопичення інформації, яка в подальшому застосовується для ідентифікації тріщиноутворення.

Достовірність контролю, що здійснюється на основі акустичної емісії, визначається ефективністю функціонування усіх ланок вимірювального тракту. При цьому слід враховувати амплітудно-частотні характеристики перетворювачів акустичної емісії, відстані передачі інформації (до 50 м для ДАЭ – 002) і необхідність калібрування засобу візуалізації, відповідно до робочих параметрів звукової карти.

Для здійснення попереднього контролю стану металоконструкцій необхідно мати відомості про зв'язок початку процесу тріщиноутворення та частотними й амплітудними характеристиками сигналів акустичної емісії для конструкційного матеріалу, що визначається з довідкових джерел.

Визначення моменту старту мікротріщин у конструкційних сплавах, величини її субкритичного росту можливе за методикою оцінки нижнього порогового значення коефіцієнта інтенсивності напружень, що запропонована в [6]. Зв'язок величини стрибка тріщини Δl з коефіцієнтом інтенсивності напружень в момент старту мікротріщини K , при якому відбувається стрибок, згідно з моделлю докритичного росту тріщини (без урахування впливу зовнішнього середовища) виражається формулою [6]:

$$\Delta l = BK^2, \quad (1)$$

де B – емпірична константа матеріалу.

Ця залежність зберігається і при корозійному розтріскуванні, а швидкість росту тріщини V ,

яка є функцією коефіцієнта інтенсивності напружень, визначається так:

$$V = \frac{BK^2}{\Delta t}. \quad (2)$$

Приріст тріщини фіксується металографічними методами. За відомими значеннями Δl та навантаження визначається величина K . Інтервал часу між стрибками тріщини оцінюється наступним чином. При значному зростанні мікротріщини генерується певна кількість подій (сигналів) акустичної емісії, що супроводжують кожен стрибок. Ця сума визначає зростання тріщини. Вимірюючи час між початком дії навантаження t_1 до моменту зупинки росту тріщини t_2 , за сигналами акустичної емісії на акустограмі (рисунок) фіксується кількість сигналів $\sum \Pi$, що знаходяться у цьому інтервалі підростання. Тоді час між стрибками визначається так:

$$t_c = \frac{t_2 - t_1}{\sum \Pi}. \quad (3)$$

За допомогою експериментальних даних t_c , Δl , K , враховуючи, що

$$\Delta t = \frac{BK^2}{V} \quad (4)$$

визначається константа матеріалу B :

$$B = \frac{t_c \Delta l}{(t_2 - t_1) K^2}. \quad (5)$$

Далі за відомою константою матеріалу B визначається нижнє порогове значення коефіцієнта інтенсивності напружень, при якому відсутнє зростання тріщини.

Обговорення результатів

Надійність метода обумовлюється тим, що при постійному або знакомінному навантаженні на металоконструкцію, сигнали акустичної емісії відсутні або мають випадковий характер, якщо не перевищено рівень попереднього навантаження (ефект Кайзера). Тобто сигнали, які свідчать про ініціалізацію негативних процесів у матеріалі з'являються при підвищенні, з будь-яких причин, навантаження на контрольовану конструкцію. Цей метод дає змогу також отримувати сумарний підрахунок імпульсів акустичної емісії за інтервал часу спостережень в обраній системі координат.

При використанні запропонованої системи слід враховувати, що у механічних або зварних з'єднаннях сигнали акустичної емісії значною мірою затухають та спотворюються. Для локалізації осередку тріщиноутворення треба використовувати систему датчиків та реєструвати затримки надходження сигналів до засобу накопичення інформації, що дає змогу діагностувати конструкції великих розмірів.

Враховуючи, що без залучення додаткових пристроїв у вимірювальному тракті до одного персонального комп'ютера можливе підключення єдиного перетворювача акустичної емісії, додаткові датчики підключаються до інших комп'ютерів, об'єднаних у локальній мережі, а отримана інформація передається на сервер мережі або персональний комп'ютер уповноваженої особи.

Достовірність ідентифікації може бути забезпечено тільки синхронізацією системного часу окремих комп'ютерів, що досягається за рахунок її автоматизації програмними засобами. Описані напрацювання було втілено у роботі [12].

Висновки

1. Розроблена система безперервного контролю та ідентифікації тріщиноутворення в металевих конструкціях базується на реєстрації сигналів акустичної емісії і струмів витоку дає змогу за результатами обробки та ідентифікації накопичених сигналів отримувати інформацію про динаміку розвитку дефекту не тільки на поверхні, а й всередині будівельного об'єкта.

2. Запропонована система належить до автоматизованих систем неруйнівного контролю і не потребує подачі у контрольований елемент конструкції тестових сигналів, чим обґрунтована технічна, економічна та екологічна доцільність її застосування.

Дослідження компонентів системи у реальних умовах експлуатації довели доцільність подальшої розробки інформаційних систем та програмних комплексів для ідентифікації сигналів акустичної емісії, що значно підвищить надійність контролю та ідентифікації тріщиноутворення.

Список літератури

1. Патон Б.Е. *Техническая диагностика: вчера, сегодня, завтра* / Б.Е. Патон, Л.М. Лобанов, А.Я. Недосека // *Техническая диагностика и неразрушающий контроль*. – 2003. – №4. – С.6-10.
2. Григорьев О.А. *Влияние неисправностей системы электроснабжения зданий на ускоренную коррозию трубопроводов* / О.А. Григорьев, В.С. Петухов, В.А. Соколов // *Новости теплоснабжения*. – 2002. – №7. – С.44-46.
3. Козлов А.В. *Исследование процесса сжатия сплава АМгб с помощью акустической эмиссии* / А.В. Козлов, Г.И. Прокопенко, В.А. Глыва, Г.И. Кузьмич // *Металлофизика*. – 1991. – №8. – С.101-104.
4. Скальський Р.В. *Акустична емісія під час руйнування матеріалів, виробів і конструкцій. Методологічні аспекти відбору та обробки інформації* / Р.В. Скальський, П.М. Коваль. – Львів.: Сполах, 2005. – 396с.
5. Єременко Б.М. *Огляд та аналіз методів і моделей діагностування об'єктів будівництва* / Б.М. Єременко // *Теорія і практика будівництва*. – 2012. – Вип. 9. – С. 43-46.
6. Запорожець О.І. *Ультразвуковий метод неруйнівного контролю температурних полів і термічних напруг в корпусах ядерних реакторів типу ВВЕР440 та ВВЕР 1000 при імпульсному тепловому навантаженні* / О.І. Запорожець, М.О. Дордієнко, В.А. Михайловський та ін. // *Проблеми ресурсу і безпеки експлуатації конструкцій, споруд та машин: Зб. наук. пр.* – К.: ІЕЗ НАН України. – 2006. – С.212-221.
7. ДСТУ 4221-2003. *Настанови щодо проведення акустично-емісійного контролю об'єктів підвищеної небезпеки*.
8. РД ЭО 0624-2005 *Мониторинг строительных конструкций АЭС. Основные положения (Введ. в дію 27.03.2007 розпор. ДП НАЕК „Енергоатом” № 257)*.
9. Скальський В.Р. *Розробка методик і засобів виявлення, зародження та розвитку тріщин у великогабаритних об'єктах під впливом навантаження і робочого середовища* / В.Р. Скальський, О.М. Сергієнко, Б.О. Олійник та ін. // *Проблеми ресурсу і безпеки конструкцій, споруд та машин.: Зб. наук. пр.* – К.: ІЕЗ НАН України. – 2006. – С.48-51.
10. Патент України 22961, МПК G01R 29/08, G01N 17/00 *Автоматизований комплекс контролю рівнів електромагнітних полів і звукового тиску* / В.А. Глыва, В.І. Клапченко, Л.О. Левченко, Г.Д. Потапенко. *Опубл.* 25.04.07. *Бюл.* №5.
11. Патент України 27476, МПК G01N29/00, G01R29/08 *Пристрій неперервного контролю фізичного стану металевих конструкцій* / В.А. Глыва, О.І. Запорожець, М.С. Зарицький, Г.І. Прокопенко. *Опубл.* 25.10.07, *Бюл.* №17.

Стаття надійшла до редколегії 12.09.2013

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.М. Михайленко, Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ.