

В. А. Глива, д-р техн. наук, О. О. Козлітін
(Національний авіаційний університет),
Д. Б. Осадчий (ПАТ «Одесаобленерго»)

ЗАГАЛЬНІ ПІДХОДИ ДО МОНІТОРІНГУ ФІЗИЧНОГО СТАНУ МЕТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ОХОРОНИ ПРАЦІ

Вступ. Забезпечення захисту металевих конструкцій будівель та споруд від раптових руйнувань, підвищення їх надійності, визначення можливості продовження термінів їх експлуатації є одним із важливих напрямів робіт з удосконалення комплексу працезохоронних заходів на підприємствах різного профілю.

Особливо це стосується підприємств гірничо-металургійного та енергетичного комплексів, металоконструкції яких виконують важливі функції, пов'язані з безпекою працюючих. Проте потрібно враховувати, що значна кількість цих металоконструкцій піддана дії механічних і термічних навантажень і знаходиться у важкодоступних та недоступних місцях.

Контроль їх стану (втрата міцнісних характеристик внаслідок утомних процесів, хімічної та електрокорозії тощо) традиційні методи періодичних візуальних і апаратних обстежень дуже затратні та не завжди можливі.

Сьогодні в Україні значна кількість промислових об'єктів, виробничого обладнання мають терміни експлуатації, близькі до граничних. У цих умовах все більш актуальною стає проблема своєчасного виявлення найнебезпечніших для міцності конструкцій дефектів типу тріщин за умов деградації металу, що відбувається внаслідок тривалої їх експлуатації під дією механічних та корозійних чинників і фізичних полів.

Це потребує розроблення придатних до використання на промислових підприємствах простих в експлуатації, таких, що не потребують залучення сторонніх фахівців, маловитратних засобів контролю фізичного стану металевих конструкцій, особливо тих, що перебувають під значним циклічним навантаженням та не обладнані засобами катодного захисту від електрокорозії.

Аналіз сучасного стану питання. Одним із найбільш поширених і добре опрацьованих методів неруйнівного контролю стану металевих конструкцій є метод акустичної емісії [1]. Технічна та економічна доцільність його використання обумовлені тим, що при застосуванні цього методу не використовуються шкідливі для працюючих випромінювання (рентгенівське, радіоактивне) та не виникає потреби в подачі до контрольованого елемента конструкції тестових сигналів.

Більшість досліджень і прикладних розробок стосуються споруд і конструкцій спеціального призначення [2] та регламентуються відповідними нормативами з неруйнівного контролю та моніторингу стану будівельних конструкцій [3, 4].

Розробки щодо впливу струмів витоку систем електроживлення стосуються, в основному, трубопроводів різного призначення [5]. Поодинокі дослідження щодо негативного впливу кількох фізичних факторів на стан металоконструкцій [6, 7] оперують виключно експериментальними даними без узагальнення отриманих результатів та можливості їх використання для виявлення та прогнозування негативних явищ у металевих конструкціях різного режиму експлуатації, виготовлених з різних металів тощо.

Попередні розробки та дослідження щодо контролю фізичного стану металевих конструкцій [8] та визначення витрат на здійснення відповідного моніторингу [9] дозволяють узагальнити отримані експериментальні дані, розробити аналітичні моделі щодо динаміки небезпечних процесів у металевих конструкціях та оцінити витрати на розроблення та впровадження відповідних заходів.

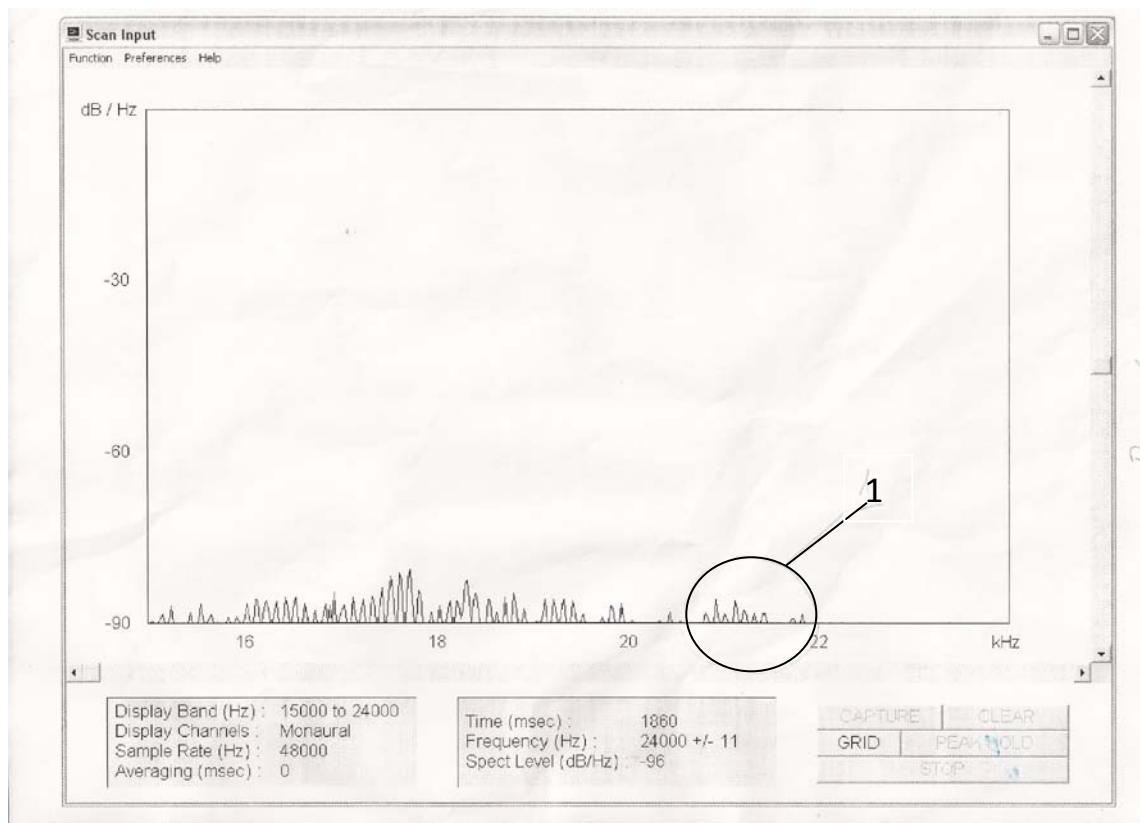
Метою роботи є розроблення комплексного підходу до використання неруйнівного контролю фізичного стану металевих конструкцій для підвищення рівня охорони праці на підприємствах різного профілю.

У загальному випадку показниками надійності та безпечності металевих конструкцій є відсутність процесів тріщиноутворення на їх критичних ділянках внаслідок втомних процесів і зниження міцності конструкцій внаслідок процесів електрокорозії.

Розвиток тріщин, як на стадії фіксації передумов появи мікротріщин, так і на стадії формування магістральних тріщин, надійно реєструється методами акустичної емісії. Зазвичай це потребує наявності досить складної апаратури з багатоканальним приймачем акустичних сигналів.

Сигнали початку тріщиноутворення фактично в усіх конструкційних матеріалах припадають на ультразвукову частоту акустичного спектра, що підтверджено надійними експериментальними даними та представлено у довідковій літературі (рис. 1).

Проте у виробничих умовах необхідним є постійний контроль цих процесів. При цьому доцільним є здійснення контролю вібраційних навантажень, тобто відстеження всього звукового діапазону. У таких умовах інструментальне розділення ультразвукових сигналів значно ускладнюється.



**Рис. 1. Акустограма циклічно навантаженого сплаву АМгб.
1 – сигнали тріщиноутворення**

Дослідження процесів деформації сплаву АМгб показали, що за умови контролю всього акустичного спектру на реальних конструкціях амплітуди ультразвукових сигналів на стадіях пластичних деформацій та деформацій тріщиноутворень відрізняються у межах похибок п'єзоелектричних датчиків.

Аналіз акустичних спектрів свідчить про те, що акустограми різних стадій навантажень відрізняються у звуковій частині спектра 15...20 кГц, що відкриває можливості надійного діагностування негативних процесів у конструкційних матеріалах на цих частотах. Визначення амплітуд акустичних сигналів у режимі реального часу на різних стадіях навантажень дозволило виявити певні закономірності (рис. 2).

Як видно, розвиткові негативних процесів у матеріалі відповідає зростання амплітуди звукових сигналів на частоті близькій до 17 кГц, що доцільно використовувати для оперативного діагностування цього конструкційного сплаву. При цьому монотонність кривої амплітудно-частотної залежності, відсутність її перегинів свідчать про наближення до руйнівного стану конструкції.

Невід'ємною складовою контролю фізичного стану металевих конструкцій є визначення їх безпечності для працюючих в умовах протікання електрокорозійних процесів. Вони обумовлені наявністю в металевих конструкціях електричних струмів витікання та блукаючих електрострумів. Останні надходять, в основному, від рухомого складу та електрообладнання, що працює на постійному струмі. Такі струми руйнують металеві споруди,

трубопроводи, електрокабелі, опори та розтяжки повітряних ліній електропередач, призводять до появи на металевих предметах ділянок входу та виходу постійного електричного струму. Внаслідок цього на метали утворюються катодні та анодні зони, тобто місця виходу струму піддаються корозії. Уникнення цього досягається ліквідацією протікання струмів конструкціями, але наші дослідження показали, що металокопструкції з нульовими електрострумами складають приблизно 3 % від обстежених будівель і споруд.

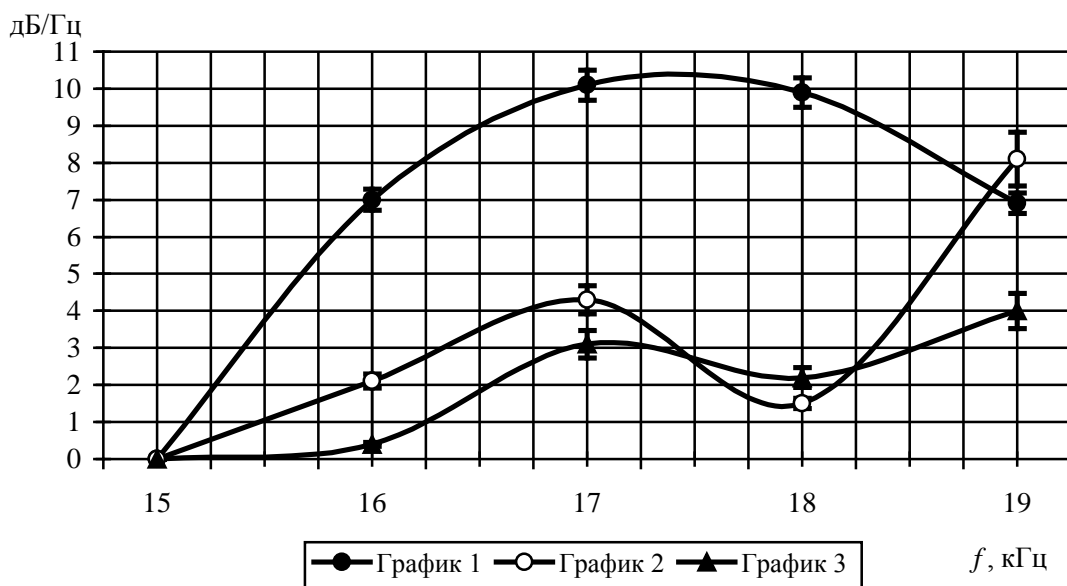


Рис. 2. Залежність амплітуд звукових сигналів зі сплаву АМг6 на різних стадіях навантаження: 1 – передруйнівна стадія; 2 – початок утворення мікротріщин; 3 – пружна область

Особливу небезпеку складають блукаючі струми у гірничій та енергетичній галузях, де за рахунок підвищеної вологості з доступом повітря корозійні процеси прискорюються. При цьому значна частина потужних засобів механізації використовує саме постійні струми електроживлення.

Визначення джерел та розроблення засобів контролю та захисту від цих факторів з точки зору підвищення рівня охорони праці є предметом окремого ґрунтовного дослідження, але необхідним є визначення та формування загальних засад впровадження відповідних заходів.

Це, на нашу думку, необхідно робити на комплексній основі, одночасно з контролем негативних явищ, обумовлених втомними процесами в металевих конструкціях. Слушність такого підходу обумовлюється подвійним впливом електрокорозії на міцність металокопструкцій: її зниження за рахунок зменшення площі перерізу несучої конструкції та підвищене тріщиноутворення в зоні корозії.

Зменшення поперечного перерізу конструкції відбувається за рахунок виходу маси металу з конструкції, яка є анодом. Винос металу, відповідно до фундаментального співвідношення, пропорційний електричному заряду, що

протікає крізь поперечний переріз елемента конструкції. При цьому маса винесеного металу m :

$$m = \frac{M}{z} \cdot \frac{1}{F} = \frac{M}{zF} \cdot It,$$

де M – молярна маса металу (для заліза – 56 кг/кмоль);

z – валентність металу (для заліза +2, +3);

F – стала Фарадея ($9,6 \cdot 10^4$ Кл/моль);

I – струм у конструкції;

t – час протікання електроструму.

Виходячи з наведеного, легко отримати значення зменшення перерізу ділянки конструкції та збільшення механічного навантаження на ній.

Проте процеси електрокорозії мають досить складний характер. Через наявність межкристалітної корозії та корозійного розтріскування значно прискорюється процес тріщиноутворення.

Саме тому необхідним є одночасне визначення внеску у тріщиноутворення як втомних, так і корозійних явищ.

Реалізація такого підходу є доцільною з використанням розробленого автоматизованого комплексу моніторингу фізичних параметрів виробничого середовища [10] і побудовою відповідної бази даних та інформаційним супроводом системи контролю [11]. Наведені розробки не потребують суттєвих доопрацювань для вирішення поставлених задач.

Важливим аспектом ефективності розробленого підходу є локалізація осередку тріщиноутворення. Це досягається моделюванням діаграм спрямованості сигналів від підростаючих втомних або корозійних тріщин та зон однакової точності для кількох акустичних датчиків, що потребує окремого розгляду. Осередок тріщиноутворень фіксується за рахунок використання кількох датчиків. Достовірність заходів контролю забезпечується точною синхронізацією системного часу персональних комп'ютерів [8], що за різницею часу проходження сигналу дозволило достатньо точно попередньо визначити осередки появи тріщин у металоконструкціях різного призначення та виготовлених із різних конструкційних матеріалів.

Висновки. Розроблені підходи до використання методів неруйнівного контролю фізичного стану металевих конструкцій дозволяють впровадити автоматизовану систему попереднього контролю як міцнісних властивостей конструкцій, так і кількісних значень магнітних полів струмів витоку, які у багатьох випадках мають гігієнічно значущі рівні.

Система контролю діагностує появу негативних явищ у несучих конструкціях на докритичних стадіях, що дозволяє своєчасно залучити спеціалістів для точної локалізації потенційних ланок руйнування конструкцій та вжити заходів з їх зміцнення.

Отримані графічні матеріали дозволяють оцінити небезпечність структурних зрушень у металоконструкціях без залучення спеціальної діагностичної апаратури значної вартості.

Результати досліджень доцільно використовувати для безперервного контролю фізичного стану металевих конструкцій у недоступних і важкодоступних місцях, що характерне для багатьох підприємств металургійної, гірничої та енергетичної галузей.

Впровадження розроблених заходів значною мірою сприятиме підвищенню ефективності працезохоронних заходів на підприємствах різного профілю.

Список літератури

1. Патон Б. Е., Лобанов Л. М., Недосека А. Я. 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. Ультразвуковий метод неруйнівного контролю температурних полів і термічних напруг в корпусах ядерних реакторів типу ВВЕР440 та ВВЕР1000 при імпульсному тепловому навантаженні / О. І. Запорожець, М. О. Дордієнко, В. А. Михайловський та ін. // Проблеми ресурсу і безпеки експлуатації конструкцій, споруд та машин: збірник наукових праць. – К.: ІЕЗ НАН України. – 2006. – С. 212–221.
3. ДСТУ 4221-2003. Настанови щодо проведення акустично-емісійного діагностування об'єктів підвищеної небезпеки. – Чинний від 01.10.2004. – К.: Держстандарт України, 2003.
4. РД ЭО 0624-2005. Моніторинг будівельних конструкцій АЕС. Загальні положення: від 27.03.2007. – ДП НАЕК «Енергоатом», № 257.
5. Григорьев О. А., Петухов В. С., Соколов В. 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.
6. 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. Оліярник та ін. // Проблеми ресурсу і безпеки конструкцій, споруд та машин: збірник наукових праць. – К.: ІЕЗ НАН України, 2006. – С. 48–51.
7. Вільсон О. Г. Джерела електромагнітних випромінювань і електромагнітна безпека користувачів персональних комп'ютерів / О. Г. Вільсон, В. А. Глива, С. Ф. Григор'єв, Г. Д. Потапенко // Вісник НТУУ «КПІ». – 2003. – Вип. 8. – С. 158–163.
8. Скальський Р. В., Коваль П. М. Акустична емісія під час руйнування матеріалів, виробів і конструкцій. Методологічні аспекти відбору та обробки інформації / Р. В. Скальський, П. М. Коваль. – Львів: Сполох, 2005. – 396 с.
9. Левченко Л. О. Оцінка економічної складової екологічних досліджень / Л. О. Левченко, С. О. Лук'яненко, С. Г. Карпенко, В. А. Глива // Науко-технічна інформація. – 2009. – № 3. – С. 7–9.
10. Глива В. А. Неперервний моніторинг фізичних параметрів середовища при експлуатації автоматизованих систем / В. А. Глива // Весник національного технічного університета «ХПІ». – 2008. – № 27. – С. 5–10.

11. Левченко Л. О. Інформаційний супровід екологічного моніторингу / Л. О. Левченко, В. А. Глива, В. І. Клапченко, А. Ю. Репко // Науково-технічна інформація. – 2009. – № 1. – С. 16–19.

Дата подання статті до збірника –26.07.2013