

УДК 624.014:620.179.16

М.О. Демченко<sup>1</sup>, М.В.Філіппова<sup>1</sup>, В.М. Безручко<sup>2</sup><sup>1</sup> Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Київ<sup>2</sup> Чернігівський державний технологічний університет, Чернігів

## СИСТЕМА НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ БАЛОЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ПРОМИСЛОВИХ СПОРУД

Розглянуто причини виникнення напруженого стану в металі балочних елементів металоконструкцій промислових споруд. З метою аналізу впливу напруженого стану металу на параметри акустичного сигналу розроблена система контролю, що дозволяє в лабораторних умовах на металевих конструкціях проводити дослідження напружень, які виникають під час розтягу та стискання, а також їх вплив на параметри акустичного сигналу. Для аналізу експериментальних даних розроблено математичний апарат, що дозволяє встановити достовірність отриманих даних. Розроблено декілька методик проведення експериментальних досліджень параметрів залежності акустичного сигналу від навантаження елементу конструкції та визначення достовірності результатів.

**Ключові слова:** напружений стан, балочні елементи металоконструкції, система неруйнівного контролю.

### Актуальність роботи

В сучасному будівництві використовуються новітні технології, що потребують все більшого використання металевих та бетонних конструкцій в промислових спорудах, термін експлуатації яких не перевищує 20-25 років. Тому, існує необхідність всебічної діагностики даних споруд з метою виявлення та усунення можливих дефектів в процесі експлуатації. Процесу руйнування характерні певні умови його виникнення, а саме локалізація зон напруження на окремих ділянках конструкційних елементів [1, 2]. Причина виникнення таких зон може бути різною, починаючи від дефектів матеріалу, з яких виготовлені елементи конструкції (раковини, пори, включення різного виду, розшарування, шлак, раковини в результаті усадки металу та інше), в результаті механічної обробки – формування елементів конструкцій та закінчуючи не виконанням умов експлуатації, вказаних в технічній документації.

Виходячи з класифікації можливих навантажень важливу роль відіграють несистематичні навантаження [3, 4]: тривалі та тимчасові, що можуть призводити до перевищення допустимих значень навантажень для окремих елементів металоконструкцій чи груп конструкційних елементів.

З метою уникнення пошкоджень необхідно проводити поточну діагностику окремих елементів споруд. Одним з раціональних рішень в умовах об'єктів, що експлуатуються, є використання ультразвукового (УЗ) методу неруйнівного контролю [5, 6]. Для визначення поточного значення навантаження в елементах металоконструкцій необхідно мати залежність параметрів ультразвукового сигналу від навантаження.

Таким чином, метою даної роботи є проектування системи та розробка методики, що дозволять

визначити залежність акустичних параметрів від зміни напружень в металі. Отримана залежність дозволить визначити напруження в металі в зворотному порядку.

### Матеріал і результати досліджень

Об'єктом дослідження є балочні елементи металевих конструкцій промислових споруд, як таких, що схильні до найбільшому впливу змінних навантажень, про які йшла мова раніше.

Система неруйнівного контролю дозволяє проводити дослідження для будь-яких типів конструкційних елементів. Система спроектована таким чином, що при виборі іншого експериментального зразка немає необхідності змінювати інші функціональні блоки. Вона призначена для виявлення залежностей зміни параметрів акустичного сигналу від зміни фізичних параметрів об'єкту при вимушеному впливі.

Взаємодія системи блоків неруйнівного контролю балочних елементів представлена на рис. 1.

У структурі системи виділено три блоки: формування сигналу, обробки сигналів та безпосередньо блоку формування фізичного та акустичного впливу на балочні елементи металоконструкцій. Окремо виділено блок результатів експерименту. Він не впливає на процес визначення даних, а лише дозволяє отримати звіт про проведення контролю, який включає інформацію з усіх блоків системи, що спів розмірна в часі.

Перший блок – блок формування сигналів, який складається з генератора акустичних сигналів з блоком живлення. Генератор ультразвукових сигналів – це пристрій для модуляції ультразвукових сигналів різних частот і форм. В якості первинних сигналів обрані синусоїдальні. Також не виключається використання одиночних імпульсів та аналізу їх відгуків.

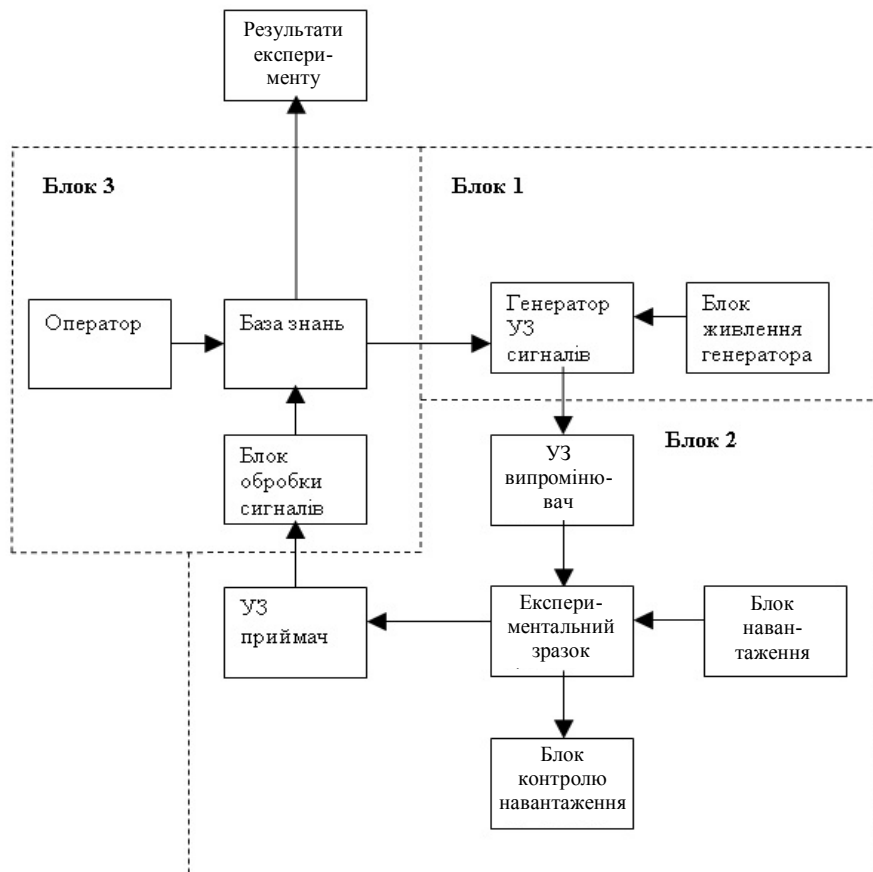


Рис. 1. Схема системи проведення експериментальних досліджень

До системи входить блок формування фізичного та акустичного навантажень в лабораторних умовах на елементи балочного типу. Експериментальний зразок металоконструкції складається з двох консольно-закріплених елементів. Верхня консоль є двотавровою балкою №12, а нижня виконана з двох швелерів 12П, що скріплені між собою привареними пластинами через певний крок до найбільшої за довжиною поверхнею. Це дозволяє уникнути кручення елементів та забезпечувати роботу лише на розтягування і стиснення. Два консольних елемента кріпляться за допомогою зварювання металевими пластинами до двотаврової балки №16 на одну з робочих поверхонь. Між консольними елементами створюється натяг за допомогою талрепа – блоку навантаження. Блок контролю навантаження знімає поточне значення навантаження, що створюється блоком навантаження. На робочих майданчиках елементів створюється напруження розтягування й стиснення. Як відомо, при консольному закріпленні завжди одна з полиць працює на розтяг, а інша на стиснення. Таким чином, розташовуючи ультразвукові датчики на одній з полиць є можливість проводити аналіз лише одного типу напружень.

Також до блоку входять два УЗ датчики, такі як випромінювач і приймач. Вони розташовуються на робочих поверхнях балкових елементів на певному віддаленні один від одного, для забезпечення зада-

ного кута проникнення сигналу і обхвату необхідної зони. Таким чином, дотримання цієї відстані забезпечує найбільшу адекватність, показань що одержуються.

Сигнал з УЗ приймача переходить через блок управління експериментом на блок обробки сигналів. У свою чергу база знань збирає статистичну інформацію про кожне вимірювання. Оператором здійснюється управління базою знань, а також прийняття рішень про зміну робочої частоти або форми сигналу, що задається генератором блоку 1.

Інформація, що збирається, формується на основі зміни параметрів акустичного сигналу в результаті проходження через метал, який має різні внутрішні напруження по довжині елементів установки, значень фактичної навантаження, місце розташування датчиків блоку 2.

Отримані дані дозволяють визначити оптимальні параметри, необхідні для виведення залежності параметрів акустичного сигналу від внутрішніх напружень в металі. Якщо очевидна залежність не встановлюється, необхідно змінити початковий генерований сигнал блоком 1 або його тип.

Рішення про формування результатів експерименту приймається оператором. Коли знайдені параметри початкового сигналу, який забезпечує найбільшу інформативність, проводиться ряд вимірів до 50 з метою подальшої їх статистичної обробки.

Методика використання системи неруйнівного контролю полягає в наступному:

1. Підготовка вимірювальної системи до роботи: увімкнення обладнання блоків 1 та 2 і приєднання ультразвукових випромінювачів та приймачів до обладнання блоків 1 та 2 відповідно.

2. Тестування працездатності елементів вимірювальної системи.

3. Увімкнення блоку контролю навантаження.

4. Встановлення датчиків в точці вимірювання.

5. Встановлення необхідного навантаження. Блоком навантаження Блоку 2 та контроль його Блоком контролю навантаження.

6. Проведення ряду вимірів з метою пошуку закономірностей між сигналом та напруженням: зміна навантаження на елементи балок блоком навантаження.

7. Запис результатів вимірювання в Базу знань Блоку 3.

8. Зміна параметрів сигналу рішенням оператора Блоку 3.

9. Проведення повторного вимірювання.

10. Проведення ряду вимірювань до встановлення необхідних початкових параметрів роботи Блоку 1.

11. Проведення вимірювань не менше 40 при одних і тих самих режимах.

12. Запис результатів вимірювання.

13. Формування результатів експерименту.

Цей алгоритм описаний для однієї точки вимірювання, тобто датчики не змінює свого положення відносно поверхні зразка. За його допомогою можливо проводити визначення таких даних як:

1. Тип початкового сигналу.

2. Робоча частота для проведення досліджень.

3. Параметри сигналу, що найбільш яскраво відображають зміну напружень в метали.

4. Залежність параметрів сигналу від зміни внутрішніх напружень.

Ця методика справедлива в тому випадку, коли перші два пункти з вище перерахованих неможливо розрахувати аналітично. В іншому випадку такі пункти як п.6, п.7, п.8, п.9 та п.10 методики не проводяться, а застосовується наступна методика:

1. Підготовка вимірювальної системи до роботи: увімкнення обладнання блоків 1 та 2 і приєднання ультразвукових випромінювачів та приймачів до обладнання блоків 1 та 2 відповідно.

2. Тестування працездатності елементів вимірювальної системи.

3. Увімкнення блоку контролю навантаження.

4. Встановлення датчиків в точці вимірювання.

5. Встановлення необхідного навантаження. Блоком навантаження Блоку 2 та контроль його Блоком контролю навантаження.

6. Встановлення необхідних режимів генератора для модуляції початкового сигналу.

7. Проведення вимірювань.

8. Запис результатів вимірювання.

9. Зміна навантаження блоком навантаження.

10. Проведення вимірювань.

11. Проведення вимірювань не менше 40 при одних і тих самих режимах.

12. Формування результатів експерименту.

Ці дві методики організовані таким чином, що вимірювання проводять в одній точці елементу експериментальної установки металоконструкції. Це дозволяє проводити дослідження сигналів для ділянки металу без урахування його внутрішніх фізико-механічних параметрів, таких як пори, раковини, тріщини, включення та інші. Рекомендується використовувати інший алгоритм проведення досліджень, який передбачає не зміну навантаження при розташуванні датчиків в одній вказаній точці, а навпаки, при сталому навантаженні переміщувати датчик по робочій ділянці балочного елементу.

Аналіз результатів експерименту здійснюється згідно з ГОСТ 8.207-76 «Прямые измерения с многократным повторением. Методы обработки результатов наблюдения», з метою встановлення достовірності отриманих даних, наступним чином:

1. Визначення середнього значення результатів вимірювання  $\bar{x}$  за формулою:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (1)$$

2. Визначення дисперсії D за формулою:

$$D = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1} \quad (2)$$

3. Визначення середнього квадратичного відхилення  $\sigma$  за формулою:

$$\sigma = \sqrt{D} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (3)$$

4. Для знаходження та виключення помилок розрахунок більшого за абсолютним значенням нормоване відхилення за формулою:

$$v = \frac{\max |x_i - \bar{x}|}{\sigma} \quad (4)$$

5. Задати довірчу імовірності  $p_a = 0,95$  та визначення значень  $v_q$ :

– якщо  $v < v_q$ , то умова виконується, тобто помилок немає;

– якщо  $v > v_q$ , то умова не виконується, тобто результат є помилкою та його слід відкинути.

6. Визначення стандартного відхилення середнього  $\sigma_0$  за формулою:

$$\sigma_0 = \sigma / \sqrt{n}, \quad (5)$$

довірчої імовірності за формулою

$$\mu_{ст} = \sigma_0 \cdot t \quad (6)$$

та вставити дійсне значення величини, що вимірюється  $x_D$ :

$$x_D = \bar{x} \pm \mu_{ст}, \quad (7)$$

де  $t$  – гарантійний коефіцієнт, що вибирається за таблицею Стьюдента.

Для встановлення наявності дефектів в металі експериментальної установки проводити вихрострумний неруйнівний контроль. Цей додатковий аналіз дозволить при їх наявності вносити додаткові поправки в обробку отриманих результатів.

Отримана функціональна залежність параметрів сигналу від напруженого стану дозволить проводити дослідження балочних елементів металоконструкцій промислових споруд без посередньо в польових умовах.

## Висновки

Схильність металу до протистояння деформуванню, зміни форми та стану внутрішнього матеріалу під впливом не великого діапазону навантажень, викликає ряд питань по забезпеченню цих умов в роботі конкретного елемента.

Аналіз кожного окремого виду деформації в ідеальних умова показує, яким чином можна контролювати діапазон навантажень. Зміна характеристик ультразвукового сигналу дає змогу використати цю закономірність для створення методичного та

програмного комплексу направлених на контроль конструкційних елементів металевих конструкцій промислових споруд.

Система неруйнівного контролю дозволяє досліджувати будь-який з відомих конструкційних матеріалів. Функціональність системи пояснюється її завершеністю. Три блоки системи забезпечують отримання результатів експерименту, як таких, що охоплюють всі можливі варіації проведених досліджень.

## Список літератури

1. Махінко А.В. Надійність елементів металоконструкцій під дією випадкових змінних навантажень: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.23.01 / Махінко А.В. – Полтава: ПолтНТУ, 2006. – 24 с.
2. Пічугін С.Ф. Оцінка надійності металоконструкцій при дії випадкових навантажень / С.Ф. Пічугін, А.В. Махінко // Зб. доповідей VIII Української наук.-техн. конф. Ч.2. – К.: Сталь, 2004. – С. 175-185.
3. ДБН В.1.2-6-2008. Основні вимоги до будівель і споруд механічний опір та стійкість [Текст] – Введ. 2008-01-26. – К.: Мінрегіонбуд України, 2008. – 15 с.
4. ДБН В.1.2-2-2006 Нагрузки и воздействия. Нормы проектирования [Текст] – Введ. 2007-01-01. – К.: Минстрой Украины, 2006. – 78 с.
5. Пічугін С.Ф. Надежность стальных конструкций производственных зданий: автореф. дисс. д-ра техн. наук: 05.23.01 / Пічугін С.Ф. – К. КГТУСА, 1994. – 32 с.
6. Повышение долговечности металлических конструкций промышленных зданий / А.И. Кикин, А.А. Васильев, Б.Н. Кошутин и др. – М., 1984. – 302 с.

Надійшла до редколегії 2.04.2015

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. В.С. Антонюк, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Київ.

## СИСТЕМА НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ БАЛОЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРОМЫШЛЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ

М.А. Демченко, М.В. Филиппова, В.М. Безручко

*Рассмотрены причины возникновения напряженного состояния в металле балочных элементов металлоконструкций промышленных сооружений. С целью анализа влияния напряженного состояния металла на параметры акустического сигнала разработана система контроля, позволяющая в лабораторных условиях на металлических конструкциях проводить исследования напряжений, возникающих при растяжении и сжатии, а также их влияние на параметры акустического сигнала. Для анализа экспериментальных данных разработан математический аппарат, позволяющий установить достоверность полученных данных. Разработано несколько методик проведения экспериментальных исследований параметров зависимости акустического сигнала от нагрузки элемента конструкции и определения достоверности результатов.*

**Ключевые слова:** напряженное состояние, балочные элементы металлоконструкции, система неразрушающего контроля.

## NONDESTRUCTIVE TEST SYSTEM FOR BEAM ELEMENTS OF INDUSTRIAL STRUCTURES

M.O. Demchenko, M.V. Filippova, V.M. Bezruchko

*This work studies the reasons behind the emergence of stress state in the metal of steelwork beam elements of industrial structures. In order to analyze the impact of the metal stress state on the acoustic signals' parameters, a control system was developed, allowing the laboratory testing of tension and compression stress and in a view to study their impact on parameters of an acoustic signal. In order to analyze the data obtained in the course of experiments a mathematical apparatus that permits to identify validity of obtained data was developed. Several methods of experimental testing were developed in order to identify the dependence of acoustic signal on stress parameters of the structure elements and to confirm validity of the data obtained.*

**Keywords:** stressed state, steelwork beam elements, nondestructive test system.