

ІМІТАЦІЙНЕ ТА ФІЗИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ КОНСТРУКЦІЙ В ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Н.І. Бурау, С.О. Цибульник, Д.В. Шевчук

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Україна

Abstract. This work is dedicated to computer simulation and physical simulation of the developing monitoring system, which are correspond to Structural Health Monitoring. The vertical steel tank is considered as the testing object. The monitoring system contains the following measuring lines: vibration, tensometry and directional survey. The simulation models of monitoring system and tank are developed and studied. The breadboard model of system is researched.

Вступ

Технічний стан (ТС) відповідальних елементів конструкцій авіаційної техніки, машинобудування, енергетики, нафтогазової галузі, інженерних споруд спеціального призначення елементів, будівель і споруд є інтегральною характеристикою, яка показує їх здатність, чи об'єкта в цілому, виконувати передбачені завдання в межах граничних умов. Для моніторингу ТС конструкцій в експлуатації в [1] запропоновано та обґрунтовано розробку системи на основі концепції Structural Health Monitoring (SHM) для вертикальних сталевих резервуарів з еколого-небезпечними речовинами, що знаходяться у важкодоступних місцях та під впливом динамічних (сейсмічних, вітрових) і кліматичних навантажень. Така система є багатоканальною, призначена для оцінювання функціонального технічного стану елементів конструкції та прогнозування його зміни (відповідності чи не відповідності) в майбутньому, попередження руйнування та запобігання катастрофічних наслідків. В зазначеній праці наведено функціональну схему та перелік вимірювальних каналів, серед яких: вібродіагностичні; тензометричні; інклінометричний; газоаналізу; автоматичного визначення метеорологічних параметрів.

Метою даної роботи є імітаційне та фізичне моделювання системи моніторингу на основі концепції SHM, яка розробляється для вертикальних сталевих резервуарів з еколого-небезпечними речовинами, що знаходяться у важкодоступних місцях та під впливом динамічних навантажень.

Імітаційне моделювання системи моніторингу

Імітаційне моделювання є програмним відтворенням функціонування системи завдяки відтворенню функцій або моделей елементів та зв'язків [2,3]. Умовно імітаційну модель можна представити у вигляді програмно (або апаратно) реалізованих функціональних блоків. На рис. 1 наведено структуру імітаційної моделі відповідно до наведеної в [1] функціональної схеми системи.

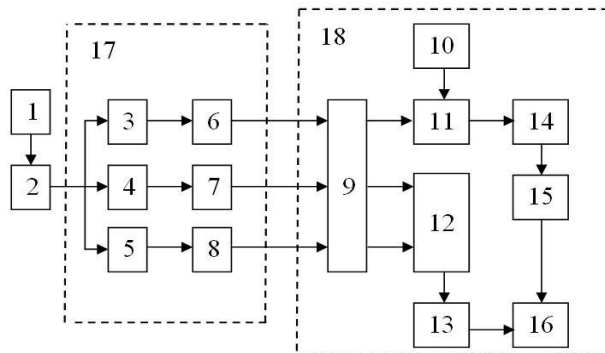


Рис. 1. Структура імітаційної моделі системи моніторингу

Розроблена модель за допомогою блоку завдання параметрів 1 у відповідності до математичної моделі сформувавши у блоці 2 моделі зовнішніх впливів на об'єкт. Під дією

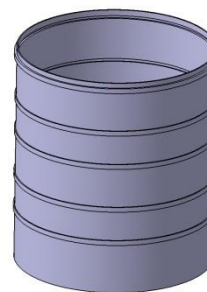
останніх формуються моделі сигналів вібрації (у блоці 3), деформації (у блоці 4) та нахилу об'єкта (у блоці 5). Для моделювання вимірюваних сигналів датчиків призначені блоки моделей акселерометра (6), тензорезистора (7) та інклінометра (8). Перетворення сигналів у дискретну форму забезпечується блоком моделювання квантування сигналів 9. Для фільтрації вібраційних сигналів використовуються блоки 10 (налаштування параметрів фільтрів) та 11 (модель цифрового згортання). Блок 12 реалізує процедуру порівняння вимірюваних параметрів з пороговими значеннями, а результат відображається у блоці 13. Блоки 14 і 15 призначені для обробки вібраційних сигналів, а блок 16 – для візуалізації результатів моніторингу. Загалом, сукупність блоків 3-8 моделює процес отримання інформації (17), а сукупність блоків 9-16 моделює діагностичний сервер 18.

Моделювання резервуару

У якості фізичної моделі резервуару, як об'єкта контролю, для дослідження використано сталевий циліндричний резервуар об'ємом $0,04 \text{ м}^3$, а в програмному середовищі САПІА було розроблено його спрощену тривимірну модель (рис. 2). Спрощення моделі обумовлено необхідністю оптимізації співвідношення часу та точності розрахунків під час імітаційного моделювання.



а)



б)

Рис. 2. Модель об'єкта контролю: а) вертикальний сталевий резервуар; б) спрощена тривимірна модель

Модальний аналіз моделі резервуару виконано у програмному комплексі скінчено-елементного моделювання ANSYS, скінчено-елементна модель містила 480 тисяч елементів. Визначено частоти коливань моделі для перших двадцяти мод коливань. Результати модального аналізу наведені в табл. 1, а приклади коливань - на рис. 3.

Таблиця 1

Результати модального аналізу спрощеної моделі резервуару

Мода	Частота, Гц	Мода	Частота, Гц	Мода	Частота, Гц	Мода	Частота, Гц
1	303,81	6	414,43	11	745,63	16	909,03
2	303,81	7	559,43	12	745,64	17	931,02
3	407,62	8	559,44	13	780,91	18	931,04
4	407,62	9	742,77	14	780,93	19	965,38
5	414,4	10	742,83	15	908,99	20	965,42

Отримані результати використовуються для порівняльного аналізу з результатами фізичного моделювання каналу вимірювання вібрації системи моніторингу.

Фізичне моделювання системи моніторингу

Для фізичного моделювання системи моніторингу у відповідності до наведеної в [1] функціональної схеми розроблено макетний зразок системи, у якому використано три вимірювальні канали, як і для імітаційного моделювання. Для каналів вимірювання вібрації та інклінометрії у якості датчика первинної інформації використано блок акселерометрів, який містить два закріплені на платі MEMC датчики MS8002.D фірми Colibrys (Швейцарія)

[4]. Приклад закріплення блока акселерометрів на фізичній моделі резервуару для вимірювання вібраційного відклику на імпульсне збурення наведено на рис. 4.

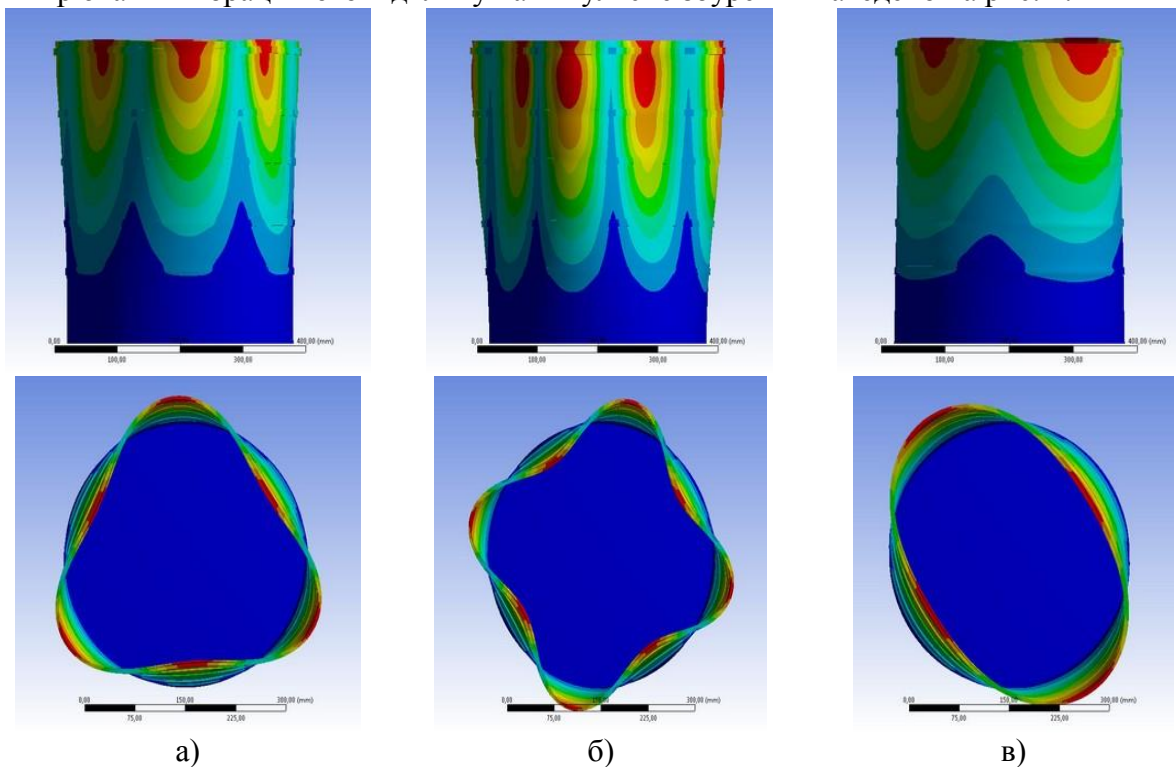


Рис. 3. Приклади коливань спрощеної моделі резервуару для першої (а), третьої (б) та п'ятої (в) мод

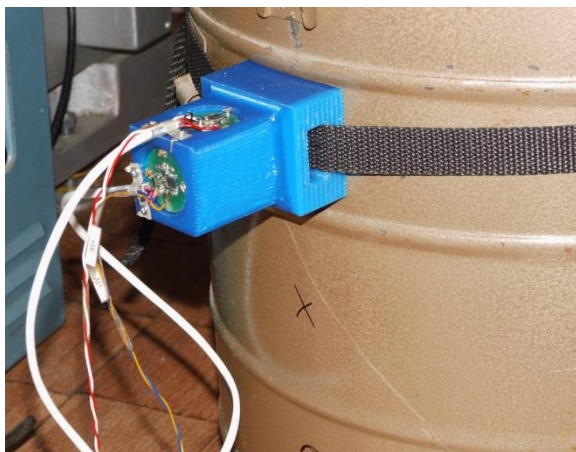


Рис. 4. Приклад закріплення блока акселерометрів на резервуарі

Датчики у корпусі розміщені таким чином, що їх осі чутливості є ортогональними, для одного акселерометра вона є горизонтальною і спрямованою по радіусу циліндра, а для другого – спрямована вертикально вгору. Таким чином забезпечується вимірювання вібрації за двома осями в кожній точці закріплення блоку акселерометрів. Для каналу інклінометричних вимірювань блок акселерометрів закріплюється на кришці резервуару таким чином, щоб визначити просторове положення резервуару відносно вертикальної осі. Для каналу тензометрії використано ланцюг одинарних прямокутних тензорезисторів ПІ фірми ВЕДА [5].

Для перетворення виміряних сигналів у дискретну форму застосовано 14 –розрядний аналого-цифровий перетворювач (АЦП) m-DAQ-14. Частота дискретизації вібраційних сигналів 2 кГц забезпечує коректне відтворення частотного діапазону, у якому відповідно до результатів імітаційного моделювання (табл. 1) відбуваються коливання резервуару.

Для обробки вібраційних відкликів об'єкту на імпульсне збурення застосовано спектральний аналіз, Вейвлет-перетворення [6] з наступним визначенням статистичних та

фрактальних характеристик [7] для отриманих в результаті розкладання часових реалізацій, приклад яких наведено на рис. 5.

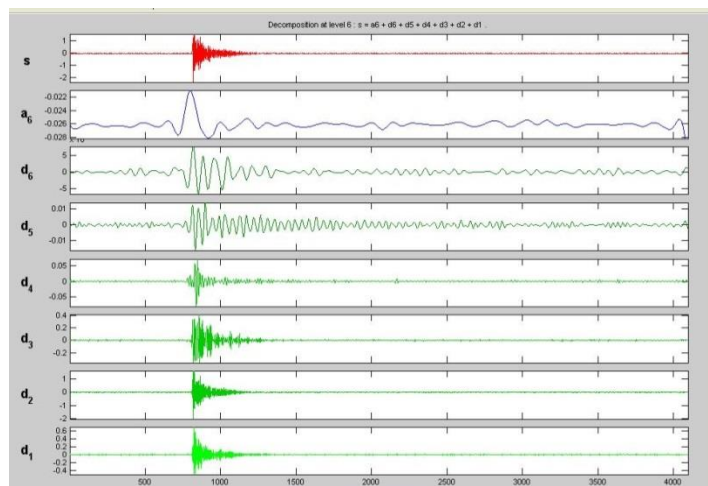


Рис. 5. Приклад Вейвлет-розкладання вібраційного відклику резервуару на імпульсне збурення

Висновки

Результати досліджень фізичних моделей об'єкта контролю та системи моніторингу показали, що спектральні характеристики вібраційного відклику суттєво залежать від напрямку прикладення збурення та напрямку вісі чутливості акселерометра. Порівняльний аналіз скінчено-елементного та фізичного моделювання дозволив встановити, що в результаті імпульсного збурення коливання фізичної моделі об'єкта відбуваються в горизонтальній площині за першими двома формами коливань, а у вертикальній площині – за 19-ю та 20-ю формами незалежно від напрямку прикладення збурення. Відносна похибка визначення частоти коливань за першою формою чисельними методами та експериментально не перевищує 6,3%.

Результати обробки інформації на основі методів Вейвлет-перетворення, статистичного та фрактального аналізу дозволяють виділити відмінності у вимірних вібраційних сигналах, пов'язані як зі зміною динамічного навантаження, так і зміною функціонального стану об'єкта.

Література

1. Бурау Н.І. Структурно-функціональний синтез систем діагностики конструкцій в експлуатації / Н.І. Бурау, О.М. Павловський, Д.В. Шевчук// Вісник Тернопільського національного технічного університету. – 2013. – Том 72. – №4. – С. 77-86.
2. Томашевський В.М. Моделювання систем / В.М. Томашевський – К.: Видавнича група BHV, 2005. – 352 с.
3. Комп'ютерне моделювання систем та процесів. Методи обчислень. Частина 1. [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://posibnyky.vntu.edu.ua/k_m/t1/14...htm.
4. MEMS Capacitive Accelerometers. Data sheet. MS8000.D. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.colibrys.com>.
5. Тензорезистор одиночний прямокутний ПІ. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://veda.com.ua/catalogue/tenzorezistory/odinochnyi/1.html>.
6. Бурау Н.И. Анализ современных методов обработки акустических сигналов для их использования в задачах виброакустической диагностики/ Н.И. Бурау, П.И. Марчук, А.Н. Тяпченко // Акустичний вісник. – 2001. – 4, №4. – С.3-10.
7. Кроновер Р.М. Фракталы и хаос в динамических системах/ Р.М. Кроновер. –М.: Постмаркет, 2000. –352 с.