

ВІБРОМОНІТОРИНГ У ПРОМИСЛОВІСТІ: ВІД ПОТРЕБИ ДО ВПРОВАДЖЕННЯ

Вінницький національний технічний університет
Вінницька філія ТОВ «КСК-Автоматизація»

Анотація

У роботі розглянуто особливості впровадження систем вібромоніторингу в складі автоматизованих систем керування технологічними процесами на промислових підприємствах. Проаналізовано принцип функціонування таких систем, їх структуру та основні етапи впровадження — від попереднього аналізу об'єкта до експлуатації та розвитку. Особливу увагу приділено сучасним тенденціям розвитку, зокрема інтеграції з хмарними сервісами, використанню технологій інтернету речей, а також застосуванню методів штучного інтелекту для обробки та аналізу вібраційних сигналів. Показано, що впровадження систем вібромоніторингу сприяє підвищенню надійності обладнання, зменшенню експлуатаційних витрат і переходу до прогнозного технічного обслуговування.

Ключові слова: вібромоніторинг, сенсор вібрації, АСУТП, SCADA-система, проектування.

Abstract

The paper examines the features of implementing vibration monitoring systems as part of automated process control systems at industrial enterprises. The principle of operation of such systems, their structure and the main stages of implementation are analyzed - from preliminary analysis of the object to operation and development. Special attention is paid to modern development trends, in particular, integration with cloud services, the use of Internet of Things technologies, as well as the application of artificial intelligence methods for processing and analyzing vibration signals. It is shown that the implementation of vibration monitoring systems contributes to increasing equipment reliability, reducing operating costs and the transition to predictive maintenance.

Keywords: vibration monitoring, vibration sensor, automated control system, SCADA systems, designing.

Вступ

У більшості промислових підприємств впровадження систем вібромоніторингу починається з конкретної потреби замовника. Як правило, це часті відмови обладнання, що призводять до незапланованих простоїв і значних фінансових втрат. При цьому традиційні методи контролю не дозволяють своєчасно виявити розвиток дефектів. Тому виникає потреба у впровадженні інструментів, які дають змогу оцінювати технічний стан обладнання на ранніх стадіях і запобігати аваріям. Оскільки вібрація є одним із основних показників механічних несправностей установок, то вібромоніторинг обладнання має важливе значення для своєчасного виявлення несправностей і запобігання аварійним ситуаціям.

Система вібромоніторингу дозволяє:

- раннє виявлення дефектів – ідентифікувати зношення підшипників, дисбаланс, розцентрування валів, тощо.
- оптимізацію технічного обслуговування – зменшити непланові простої та витрати на ремонт.
- підвищення безпеки – запобігати аваріям, які можуть загрожувати персоналу й обладнанню.
- подовження терміну служби обладнання – уникати критичних поломок і продовжувати експлуатаційний ресурс машин.

Таким чином, вібромоніторинг є ключовим елементом для контролю технічного стану механізмів, особливо в умовах безперервного виробництва.

Принцип роботи системи вібромоніторингу

Принцип роботи системи вібромоніторингу базується на послідовному перетворенні та аналізі сигналу. На першому етапі датчики вібрації, встановлені на обладнанні, здійснюють вимірювання

механічних коливань. Отриманий сигнал передається до системи збору даних, де відбувається його обробка та аналіз. На основі отриманих параметрів визначається технічний стан обладнання та виявляються можливі дефекти на ранніх стадіях їх розвитку.

На рисунку (рис. 1) представлено структурну схему системи вимірювання вібрації [1].

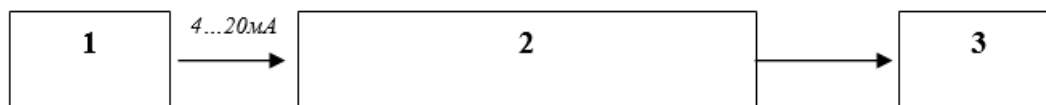


Рис. 1. Структурна схема системи вимірювання вібрації

Де:

1 – датчик вимірювання вібрації;

2 – ПЛК;

3 – Пристрій обробки та відображення інформації ПК (SCADA).

Проектування системи вібромоніторингу

Проектування систем вібраційного контролю в складі автоматизованих систем керування технологічними процесами доцільно розглядати як поетапний процес, що охоплює повний життєвий цикл — від аналізу об'єкта до подальшої експлуатації та модернізації. Узагальнено можна виокремити такі ключові стадії [2].

На початковій стадії виконується аналітична оцінка об'єкта. Визначаються найбільш відповідальні вузли обладнання, для яких необхідний контроль вібраційних параметрів, а також можливі точки встановлення датчиків. Паралельно аналізується специфіка технологічного процесу, формуються цілі впровадження моніторингу та досліджується наявна інфраструктура автоматизації і інформаційних систем підприємства.

Наступним кроком є формування технічних вимог до системи. На цьому етапі визначається необхідний функціонал, уточнюється перелік обладнання, що підлягає діагностуванню, та враховуються вимоги нормативної документації і стандартів у галузі вібродіагностики (зокрема ISO 10816) [3].

Далі здійснюється підбір технічних засобів. Обираються типи первинних перетворювачів (наприклад, акселерометри або датчики швидкості), визначаються вимоги до кабельної продукції з урахуванням умов прокладання та електромагнітних завад. Також підбираються засоби збору даних, включаючи модулі оцифрування сигналів і контролери, які забезпечують первинну обробку та передачу інформації.

Важливою складовою є проектування програмної архітектури. Передбачається інтеграція системи вібромоніторингу з існуючими рівнями автоматизації (SCADA, MES, ERP), визначаються протоколи обміну даними (наприклад, Modbus TCP або OPC UA). Особливу увагу приділяють розробці алгоритмів аналізу сигналів, включаючи спектральні методи та інші підходи діагностики, а також реалізації систем оповіщення, аварійної сигналізації та збереження історичних даних.

Після цього виконується етап практичної реалізації на об'єкті. Він включає монтаж датчиків, прокладання кабельних трас, налаштування параметрів збору та обробки інформації, проведення пусконаладжувальних робіт і перевірку коректності функціонування системи.

Окремо слід виділити підготовку персоналу, що передбачає розроблення експлуатаційної документації та навчання операторів і технічних спеціалістів роботі з новою системою.

Впровадження завершується дослідною експлуатацією, під час якої система працює в реальних умовах, а її параметри уточнюються та оптимізуються за результатами спостережень.

Заключна стадія пов'язана з супроводом і розвитком системи: виконанням регламентного обслуговування, оновленням програмного забезпечення, розширенням функціональних можливостей і використанням накопичених даних для підвищення ефективності технічного обслуговування обладнання.

Інтеграція систем контролю вібраційних параметрів до складу автоматизованих систем керування технологічними процесами на промислових об'єктах відкриває можливість здійснювати діагностику стану обладнання без його зупинки. Такий підхід забезпечує своєчасне виявлення дефектів, зменшує

ризик виникнення аварійних ситуацій і створює передумови для переходу до прогнозного технічного обслуговування, що, у свою чергу, сприяє оптимізації експлуатаційних витрат.

Останні тенденції розвитку вібраційного моніторингу пов'язані з активним використанням цифрових технологій. Зокрема, спостерігається інтеграція систем із хмарними сервісами, що дозволяє накопичувати та обробляти значні обсяги даних у централізованому середовищі. Паралельно впроваджуються рішення на базі Інтернету речей, які забезпечують безпосереднє підключення вимірювальних пристроїв до мережевої інфраструктури та реалізацію дистанційного контролю.

Вагомим напрямом є застосування методів штучного інтелекту та машинного навчання для інтерпретації вібраційних сигналів. Використання таких алгоритмів дає змогу не лише виявляти відхилення від нормального режиму роботи, а й оцінювати ступінь зносу елементів обладнання з високою точністю. Додатково поширюється використання периферійних обчислювальних пристроїв, які виконують попередню обробку даних безпосередньо на місці їх збору, що дозволяє знизити навантаження на канали зв'язку та скоротити час реагування системи.

Висновки

У результаті проведеного аналізу встановлено, що системи вібромоніторингу є ефективним інструментом контролю технічного стану промислового обладнання в умовах безперервного виробництва. Їх впровадження в складі АСУТП забезпечує можливість раннього виявлення дефектів без зупинки технологічного процесу, що дозволяє знизити ризик аварій та оптимізувати витрати на технічне обслуговування.

Визначено, що процес створення таких систем має комплексний характер і включає низку взаємопов'язаних етапів — від аналізу об'єкта та формування вимог до вибору апаратного і програмного забезпечення, впровадження та подальшої експлуатації.

Показано, що сучасний розвиток вібромоніторингу пов'язаний із впровадженням цифрових технологій, зокрема IoT, хмарних обчислень та методів штучного інтелекту, що відкриває можливості для створення інтелектуальних систем діагностики та реалізації концепції прогнозного обслуговування в рамках Індустрії 4.0.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. О.В. Осельський, "Впровадження стаціонарної системи вібромоніторингу ексгаустерного відділення агломераційного цеху", на Всеукраїнській науково-практичній інтернет-конференції «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2024)», 2024. <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2024/paper/view/19160>
2. О.В. Осельський, «Особливості проектування сучасної системи вібромоніторингу у складі АСУТП виробничого підприємства», на Всеукраїнській науково-практичній інтернет-конференції «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2025)», 2025. <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2025/paper/view/25452>
3. ДСТУ ГОСТ ІСО 10816-3:2014 Вібрація. Контролювання стану машин за результатами вимірювання вібрації на необертових частинах. Частина 3. Промислові машини номінальною потужністю більше ніж 15 кВт і номінальною швидкістю від 120 хв-1 до 15000 хв-1 (ГОСТ ІСО 10816-3-2002, MOD; IDT).

Осельський Олександр В'ячеславович – аспірант кафедри комп'ютеризованих електромеханічних систем і комплексів, Вінницький національний технічний університет, Вінниця; провідний інженер з автоматизованих систем керування виробництвом, ТОВ «КСК-Автоматизація» Вінницька філія, м. Вінниця, e-mail: oselskyi.ov@gmail.com

Науковий керівник: **Василь Васильович Кухарчук** - професор, д.т.н., професор кафедри комп'ютеризованих електромеханічних систем і комплексів, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

Oselskyi Oleksandr V – postgraduate Department of computerized electromechanical systems and complexes, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia; leading engineer for automated production control systems, «CSC-Automation» Ltd Vinnytsia branch, Vinnytsya, e-mail: oselskyi.ov@gmail.com

Supervisor: **Vasyl V Kukharchuk** - Professor, Dr Sc. (Eng.), Professor of the Department of computerized electromechanical systems and complexes, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.