

ОСОБЛИВОСТІ ПРОЄКТУВАННЯ СУЧАСНОЇ СИСТЕМИ ВІБРОМОНІТОРИНГУ У СКЛАДІ АСУТП ВИРОБНИЧОГО ПІДПРИЄМСТВА

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У статті розглянуто особливості проєктування сучасної системи вібромоніторингу в складі автоматизованої системи управління технологічним процесом (АСУТП) виробничого підприємства. Деталізовано основні етапи розробки та впровадження системи — від попереднього аналізу об'єкта до дослідно-промислової експлуатації й подальшої підтримки. Особлива увага приділена практичним аспектам інтеграції з SCADA-системами, вибору сенсорного та обчислювального обладнання, а також новітнім технологіям, зокрема IoT, хмарним платформам, AI/ML-аналітиці та edge-обробці даних. Впровадження таких систем дає змогу суттєво підвищити ефективність технічного обслуговування обладнання, зменшити аварійність і забезпечити безперервність виробничого процесу в умовах цифровізації промисловості.

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

Abstract

The article considers the features of designing a modern vibration monitoring system as part of an automated process control system (APCS) of a manufacturing enterprise. The main stages of system development and implementation are detailed - from preliminary analysis of the facility to pilot-industrial operation and subsequent support. Special attention is paid to practical aspects of integration with SCADA systems, selection of sensor and computing equipment, as well as the latest technologies, in particular IoT, cloud platforms, AI/ML analytics and edge data processing. The implementation of such systems allows to significantly increase the efficiency of equipment maintenance, reduce failure rates and ensure the continuity of the production process in the conditions of industrial digitalization.

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

Вступ

У сучасних умовах цифровізації виробництва особливого значення набуває впровадження систем технічної діагностики та моніторингу стану обладнання. Однією з критично важливих систем є вібромоніторинг — інструмент для раннього виявлення дефектів, зниження простоїв та продовження ресурсу машин.

Впровадження системи вібромоніторингу на виробничому підприємстві можливе у декількох варіантах реалізації:

- 1) як автономний аналізатор вібрації, яким періодично проводитимуться виміри параметрів вібрації на електромеханічних системах і комплексах підприємства;
- 2) як окрема система вібромоніторингу яка буде безперервно здійснювати вимірювання сигналів вібрації на технологічному обладнанні і механізмах та складатися з сенсорів вібрації, контролерів збору та обробки даних та ПК з екранами візуалізації;
- 3) як комплекс апаратного та програмного забезпечення, інтегрований у загальну архітектуру АСУТП (автоматизованої системи управління технологічним процесом), що забезпечує безперервний контроль параметрів вібрації технологічного обладнання з видачою аварійних сигналів попередження чи зупинки технологічного процесу підприємства, а також здійснює прогнозування стану контрольованого обладнання на основі вимірних даних.

На сьогоднішній день найактуальнішим є саме 3-й варіант, коли замовник отримує універсальну SCADA систему, яка дозволяє керувати виробничим процесом та одночасно глибоко моніторити стан обладнання, що експлуатується.

Основна частина

Етапи проєктування системи вібромоніторингу в складі АСУТП можна умовно поділити на кілька послідовних кроків — від попереднього аналізу до впровадження та обслуговування. Нижче подано структурований перелік із коротким описом кожного етапу:

I етап — попередній аналіз об'єкта:

- які об'єкти/вузли критичні для контролю вібрації та точок розташування сенсорів;
- оцінка технологічного процесу й обладнання;
- визначення цілей моніторингу;
- вивчення існуючої АСУТП та IT-інфраструктури підприємства.

II етап — розробка технічного завдання:

- формулювання вимог до функціоналу системи;
- визначення типів обладнання для моніторингу (насоси, редуктори, електродвигуни тощо);
- узгодження з вимогами безпеки, нормативами та стандартами (наприклад, ISO 10816) [1].

III етап — вибір апаратного забезпечення системи вібромоніторингу:

- датчики: акселерометри, сенсори швидкості або переміщення;
- сигнальні кабелі: вибір з урахуванням довжини та завадостійкості;
- модулі збору даних перетворення аналогових сигналів у цифрові;
- контролери для попередньої обробки та передачі даних.

IV етап — розробка архітектури програмного забезпечення:

- інтеграція з SCADA-системою, MES або ERP;
- вибір протоколів обміну даними (Modbus TCP, OPC UA тощо);
- розробка алгоритмів обробки сигналів: Фур'є-аналіз, спектральна діагностика, аналіз пік-факторів тощо;
- налаштування системи сповіщень, тривоги і логування.

V етап — монтаж і налаштування системи на об'єкті

- установка сенсорів на критичних вузлах;
- прокладання кабельних ліній;
- налаштування порогів, частоти збору даних, реакцій на відхилення;
- пуско-налагоджувальні роботи;
- валідація правильності збору та обробки даних.

VI етап — навчання персоналу:

- підготовка інструкцій з експлуатації;
- проведення тренінгів для операторів, технічного персоналу.

VII етап — впровадження та дослідно-промислова експлуатація:

- перехід у режим реального часу;
- спостереження за роботою системи у виробничих умовах;
- корекція параметрів за результатами тестового періоду.

VIII етап — підтримка та розвиток:

- регулярне технічне обслуговування системи;
- впровадження нових модулів/сенсорів при розширенні виробництва;
- актуалізація програмного забезпечення;
- аналітика для прийняття рішень щодо технічного обслуговування і ремонту.

В загальному випадку АСУТП має трирівневу ієрархічну структуру з розподіленими функціями контролю, з високим ступенем стійкості її структурних компонентів до відмов, з централізацією функцій прийняття рішень щодо управління комплексом взаємопов'язаних процесів [2].

Нульовий рівень - збір та обробка сигналів від датчиків технологічних параметрів та інструментального нагляду та введення сигналів датчиків за допомогою мікропроцесорних пристроїв.

Перший рівень - реалізація функцій взаємодії оператора з об'єктом контролю та з Системою, контроль інструментальних та технологічних параметрів на базі робочих станцій.

Другий рівень - екрани користувача, мережа верхнього рівня, людино-машинний інтерфейс, програмне забезпечення візуалізації [2].

На рисунку (рис.1) представлено загальну структурну схему системи вібромоніторингу у складі АСУТП виробничого підприємства.

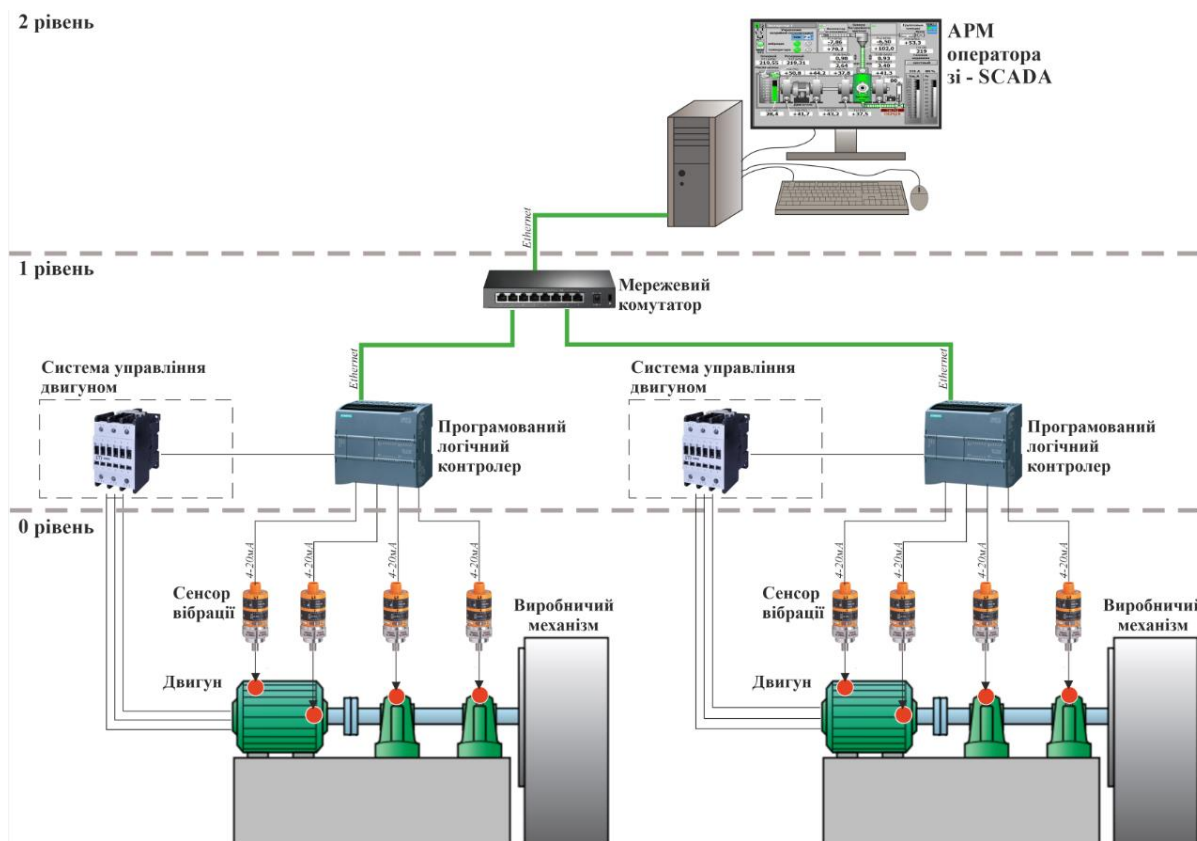


Рис. 1. Загальна структурна схема системи вібромоніторингу у складі АСУТП підприємства

Серед основних особливостей проєктування сучасної системи вібромоніторингу у складі АСУТП виробничого підприємства можна виділити наступні:

1) Доступ та можливість встановлення сенсорів в точках необхідного вібромоніторингу: наприклад не всі підшипникові вузли мають мастильні отвори для кріплення сенсора вібрації, а сверління нових отворів може призвести до зниження міцності конструкції підшипника, тому необхідно шукати альтернативні шляхи;

2) Інтеграція з існуючою або новою АСУТП: важлива сумісність із SCADA-протоколами (Modbus, OPC UA) для забезпечення реального часу обміну сигналами [3];

3) Модульність та масштабованість: можливість подальшого розширення системи під нові об'єкти чи технологічні ділянки;

4) Сенсорика та аналітика: вибір типів датчиків (акселерометри, швидкісні, зміщення), оптимальне розташування, а також впровадження алгоритмів обробки сигналу та машинного навчання для виявлення аномалій;

5) Надійність та захищеність: забезпечення стабільності роботи в агресивному виробничому середовищі, врахування захисту від шумів, механічних впливів та кіберзагроз.

Впровадження систем вібромоніторингу у складі АСУТП на виробничих підприємствах дозволяє виявити переважну більшість несправностей машини не зупиняючи її та не перериваючи технологічний процес, передбачити аварійні ситуації, прогнозувати планові ремонти та заощаджувати кошти.

Сучасні системи вібромоніторингу дедалі частіше інтегруються з хмарними платформами для зберігання та централізованої обробки великих обсягів даних. Впровадження технологій Інтернету речей (IoT) дозволяє підключати датчики безпосередньо до мережі з можливістю віддаленого контролю та діагностики. Одним із ключових напрямів розвитку є використання алгоритмів штучного інтелекту та машинного навчання (AI/ML) для аналізу вібраційних сигналів, виявлення аномалій і точного прогнозування зношування деталей. Особливу увагу приділяють впровадженню edge-пристроїв — компактних обчислювальних модулів, що здійснюють локальну обробку даних, зменшуючи навантаження на мережу та скорочуючи час реакції системи. Такі технології вже сьогодні закладають фундамент для переходу до самонавчальних, адаптивних систем технічної діагностики в рамках концепції Індустрії 4.0.

Висновки

Впровадження сучасних систем вібромоніторингу на виробничих підприємствах є досить перевіреним та виправданим рішенням сьогодення. Адже така система є важливим інструментом підвищення надійності та ефективності роботи виробничого обладнання, дозволяючи виявляти дефекти на ранніх стадіях та прогнозувати технічний стан вузлів.

Найбільш ефективним підходом є інтеграція вібромоніторингу до складу АСУТП, що забезпечує централізований контроль, візуалізацію, реагування на аварійні ситуації та гнучке масштабування системи.

Оскільки проектування системи вібромоніторингу має ряд особливостей, тому вимагає комплексного підходу — технічного, організаційного та програмного, з урахуванням специфіки виробництва, типів обладнання та наявної IT-інфраструктури.

Інноваційні рішення, зокрема використання IoT, хмарних сервісів, штучного інтелекту та edge-комп'ютинг, відкривають нові можливості для створення інтелектуальних систем технічної діагностики, що відповідають вимогам Індустрії 4.0.

Впровадження таких систем дозволяє зменшити простой, скоротити витрати на ремонт, підвищити безпеку виробничого процесу та зробити важливий крок до розумного виробництва, а також заощадити кошти підприємства.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ДСТУ ГОСТ ИСО 10816-3:2014 Вібрація. Контролювання стану машин за результатами вимірювання вібрації на необертюваних частинах. Частина 3. Промислові машини номінальною потужністю більше ніж 15 кВт і номінальною швидкістю від 120 хв-1 до 15000 хв-1 (ГОСТ ИСО 10816-3-2002, MOD; IDT).
2. 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.
3. Geeta Yadav, Kolin Paul, «Architecture and security of SCADA systems: A review», International Journal of Critical Infrastructure Protection, Volume 34, September 2021, 100433, <https://doi.org/10.1016/j.ijcip.2021.100433>

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

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

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

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

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