

Моніторинг вібраційного стану агрегатів гідроелектростанцій

<https://doi.org/10.31713/MCIT.2025.028>

Юрій Філіпович
Національний університет водного господарства
та природокористування,
м. Рівне, Україна
y.y.filipovych@nuwm.edu.ua

Андрій Боднарчук
Національний університет водного господарства
та природокористування,
м. Рівне, Україна
bodnarchuk_vg23@nuwm.edu.ua

Кароліна Каграманян
Національний університет водного господарства
та природокористування,
м. Рівне, Україна
kahramanian_ak20@nuwm.edu.ua

Анотація — Моніторинг обладнання гідроелектростанції (ГЕС) є важливою частиною її ефективної експлуатації та обслуговування. Цей процес включає в себе систематичне спостереження, збір та аналіз даних про стан елементів ГЕС, щоб вчасно виявляти можливі проблеми, запобігати відмовам обладнання та збільшити робочу продуктивність.

Ключові слова: моніторинг, вібраційні стани, проксиметр, велосіметр, акселерометр, датчик повітряного зазору, волоко-оптичний датчик вимірювання вібрації лобових частин статора

Для моніторингу за станом обладнання на гідроелектростанціях і гідроакумуючих електростанціях використовуються різноманітні системи. Це можуть бути як окремі системи з окремим датчиками та каналами зв'язку (моніторинг споруд, системи раннього виявлення та оповіщення надзвичайних подій) так і сукупність системи, що інтегрується в єдину систему моніторингу за технологічним процесом (системи термоконтролю, віброконтролю, контролю рівня води в шахті агрегату). Для моніторингу стану технологічного обладнання та управління агрегатами використовується АСК ТП на базі програмно-технічного комплексу Ovation.

Вібрація - це коливання тіла, що супроводжуються зміною його швидкості, положення або форми. Вібрація може виникати внаслідок різних причин, таких як: нерівномірний розподіл навантажень; дефекти деталей; порушення балансування; несправності підшипників [1].

Вібрація може викликати різні несправності обладнання, такі як: руйнування деталей; погіршення точності роботи; зниження коефіцієнта корисної дії.

Для проведення моніторингу вібраційного стану використовуються спеціальні пристрої -

вібродіагностичні комплекси. Вібродіагностичні комплекси включають в себе:

- вимірювальні датчики;
- блок обробки даних;
- програмне забезпечення.

Вимірювальні датчики встановлюються на об'єкті контролю. Вони вимірюють вібрацію в різних точках. Дані вимірювань передаються на блок обробки даних.

Блок обробки даних обробляє дані вимірювань і визначає вібраційні характеристики об'єкта контролю. Вібраційні характеристики - це параметри, що характеризують вібрацію. До них відносяться: амплітуда вібрації; частота вібрації; форма вібрації;

Програмне забезпечення, що входить до складу вібродіагностичного комплексу, дозволяє аналізувати вібраційні характеристики. На основі аналізу вібраційних характеристик можна зробити висновок про технічному стані об'єкта контролю.

Моніторинг вібраційного стану агрегатів проводиться в кілька етапів [2].

Перший етап - це встановлення контрольних точок. *Контрольні точки* - це місця на об'єкті контролю, де встановлюються вимірювальні датчики. Вибір контрольних точок залежить від типу об'єкта контролю і його призначення;

Другий етап - це проведення вимірювань. *Вимірювання вібрації* проводяться в статичному і динамічному режимах. Статичні вимірювання проводяться при зупиненому об'єкті контролю. Динамічні вимірювання проводяться при роботі об'єкта контролю.

Третій етап - це аналіз даних вимірювань. *Аналіз даних вимірювань* проводиться за допомогою вібродіагностичного комплексу. На основі аналізу даних вимірювань можна зробити висновок про технічному стані об'єкта контролю.

Основні типи датчиків вимірювання вібрації [2]:

Проксіметри - це датчики, які вимірюють вібропереміщення шляхом безпосереднього контакту з вібруючим об'єктом. Вони бувають кількох типів, в тому числі:

- електромагнітний проксіметр - це датчик, який використовує зміну магнітного поля для вимірювання вібропереміщення.
- оптичний проксіметр - це датчик, який використовує зміну світлового потоку для вимірювання вібропереміщення.
- п'єзoeлектричний проксіметр - це датчик, який використовує зміну електричного заряду для вимірювання вібропереміщення.

Велосіметри - це датчики, які вимірюють віброшвидкість шляхом генерації електричного сигналу, пропорційного швидкості вібрації. Вони бувають кількох типів, в тому числі:

- п'єзoeлектричний велосіметр - це датчик, який використовує зміну електричного заряду для вимірювання віброшвидкості.
- індуктивний велосіметр - це датчик, який використовує зміну індуктивності для вимірювання віброшвидкості.
- фотоелектричний велосіметр - це датчик, який використовує зміну світлового потоку для вимірювання віброшвидкості.

Акселерометри - це датчики, які вимірюють віброприскорення шляхом генерації електричного сигналу, пропорційного прискоренню вібрації. Вони бувають кількох типів, в тому числі:

- п'єзoeлектричний акселерометр - це датчик, який використовує зміну електричного заряду для вимірювання віброприскорення.
- індуктивний акселерометр - це датчик, який використовує зміну індуктивності для вимірювання віброприскорення.
- фотоелектричний акселерометр - це датчик, який використовує зміну світлового потоку для вимірювання віброприскорення.

Для моніторингу вібраційного стану гідроагрегатів Дністровської ГЕС використовуються наступні датчики:

Проксіметри PPT-110



Рис. 1 Проксіметр PPT-110

Датчики типу PPT-110 використовуються для безконтактних вимірювань вібрації валу. Кожна система складається із зонда, подовжувача та драйвера. Системи безконтактних зондів серії PPT розроблені відповідно до стандартів API 670. Вихідна напруга прямо пропорційна вимірній відстані між металевою мішенню та поверхнею датчика. Датчики оснащені броньованими кабелями та роз'ємами.

Акселерометри для вимірювання корпусної вібрації типу AS-073

AS - 073 Акселерометр

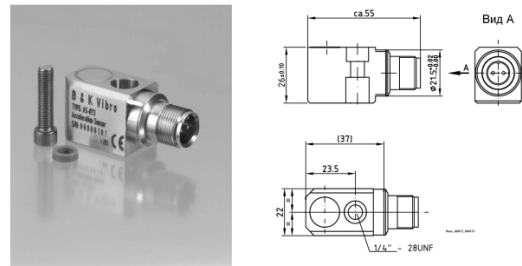


Рис. 2. Акселерометри для вимірювання корпусної вібрації типу AS-073

Акселерометр AS-073 використовується головним чином для вимірювання вібрації механізмів, що обертаються, таких як турбіни, насоси, компресори і т.д.

Використовуються також датчики повітряного зазору для вимірювання повітряного зазору у великорозмірних турбогенераторах, та гідрогенераторах, та електродвигунах; волоко-оптичний датчик вимірювання вібрації лобових частин статора

Для аналізу отриманих даних використовується програмно-технічний комплекс *Compass 6000* компанії «Брюль и Кьєр Вибро»

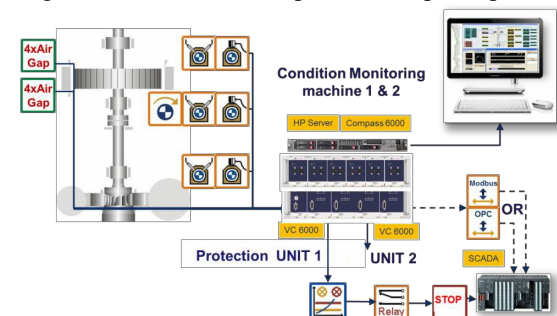


Рис. 3. Програмно-технічний комплекс *Compass 6000*

Функція системи *Compass 6000* - це інтеграція функцій контролю для забезпечення безпеки стану ГД на єдиній платформі. І хоча кінцеві результати можна отримувати і контролювати на єдиній платформі, головні функції системи розподілені між спеціальними модулями безпеки (вимірювальні модулі типу SM).

Функції моніторингу стану реалізовані на сервері моніторингу стану (СММ), який отримує від шасі моніторингу VC6000 всі необроблені сигнали. Спеціальні завдання, які стосуються моніторингу стану, виконуються всередині СММ з метою оптимізації стратегії моніторингу машинного обладнання. Дані від VC6000 та серверів СММ передаються по зв'язку Ethernet до бази даних *Compass*, де формуються спеціальні тренди, графіки моніторингу стану.

Всі датчики з'єднані кабелями із шафами системи, де змонтовані шасі VC6000. Кожне шасі VC6000 складається з наступних компонентів: шасі (ширина 19", висота 3 одиниці) та модулі моніторингу безпеки (SM). Модулі резервного живлення для кожної стійки модуля безпеки змонтовані в шасі живлення.

Усі параметри конфігурації залишаються у незалежній пам'яті кожного вимірювального модуля VC6000. Конфігурації зберігаються у внутрішній пам'яті модуля моніторингу безпеки.

Для виконання вимог API 670 функції моніторингу стану повністю відокремлені від функцій безпеки системи. СММ використовує методи частотного аналізу, доступні як у стаціонарному режимі, і при перехідних станах машинного устаткування.

Поділ функцій моніторингу стану та захисту машин забезпечує високу надійність системи загалом. СММ має вбудовану буферну систему, яка тимчасово зберігає дані вимірювань на випадок перевантаження або несправності з'єднання з ЦВМ (CVM).

Інформація ЦВМ (CVM) візуалізується на екрані ЦВМ (CVM).

Доступ до даних можна отримувати і дистанційно – з настільних ПК, з'єднаних через локальну мережу (обсяг поставки за даним проектом не входить). Для отримання графічного інтерфейсу користувача і даних з ЦВМ (CVM) на настільному ПК необхідно встановити ПО 7123.

Результати роботи системи наведені на рисунках (рис. 4 – рис. 5).

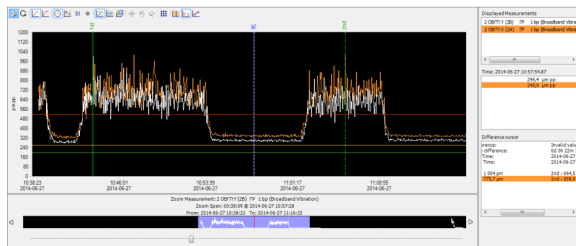


Рис. 4 Відносна вібрація валу генераторного підшипника

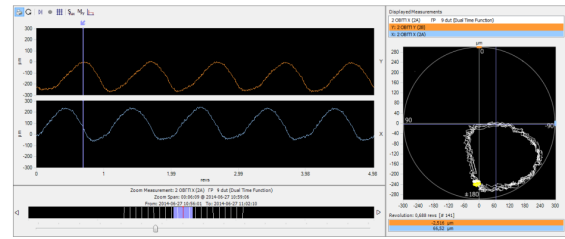


Рис. 5. Орбіта валу генераторного підшипника

Виконана також інтеграція з системою управління. Дані передаються по протоколу modbus та відображаються на видах системи управління.

Моніторинг вібраційного стану агрегатів є ефективним засобом забезпечення їх надійності та безпеки експлуатації. Він дозволяє своєчасно виявити несправності і запобігти аваріям.

Переваги моніторингу вібраційного стану агрегатів: підвищення надійності експлуатації обладнання; зменшення ризику аварій; збільшення терміну служби обладнання; зниження витрат на ремонт і обслуговування.

ВИСНОВОК.

Моніторинг вібраційного стану агрегатів є обов'язковим елементом системи управління виробничим обладнанням.

Моніторинг вібраційного стану агрегатів є одним із важливих засобів забезпечення їх надійності та безпеки експлуатації. Це дозволяє своєчасно виявити несправності, які можуть призвести до аварії або погіршення технічних характеристик обладнання. Моніторинг вібраційного стану агрегатів дозволяє виявляти несправності на ранніх стадіях їх розвитку, коли їх ще можна усунути без великих затрат.

ЛІТЕРАТУРА ТА ДЖЕРЕЛА

- [1] Прилад системи моніторингу вібрацій гідроагрегатів // Вінницький НТК. Код доступу: <https://studfile.net/preview/9762747/page:15/>
- [2] Моніторинг, діагностування та прогнозування вібраційного стану гідроагрегатів : монографія. / В. В. Кухарчук, С. Ш. Каців, В. В. Усов та ін. Вінниця : ВНТУ, 2014. 168 с. Код доступу: <https://press.vntu.edu.ua/index.php/vntu/catalog/download/114/197/225-1?inline=1>
- [3] Моніторинг Дністровської ГАЕС / Код доступу: <https://geoterrace.lpnu.ua/monitoring-dnistrovskoyi-gaes>