

Я.І. Підгородецький, к.т.н., доц., А.Г. Ренкас (Львівський державний університет безпеки життєдіяльності)

МОДЕЛЬ ВІБРОАКУСТИЧНОЇ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ВУЗЛІВ І МЕХАНІЗМІВ ПОЖЕЖНОЇ ТЕХНІКИ

Вібрації як негативне явище вказують на конструктивну і технологічну недосконалість новоствореного об'єкта, або на спрацювання (зношеність) об'єкта, що знаходиться в експлуатації. Однак дане негативне явище дає можливість застосувати його в корисних, з технічної точки зору, цілях, а саме для діагностики технічного стану цього самого об'єкта

Загально відомо, що постійна технічна справність пожежної техніки є однією з найважливіших умов боєздатності пожежних підрозділів. Тому проблема виявлення, а ще краще передбачення (прогнозування), аварійного стану або виходу з ладу технічних засобів ліквідації пожеж завжди буде важливою і актуальною.

Технічно справним можна вважати об'єкт, який задовольняє всім вимогам нормативної технічної документації. В умовах експлуатації найбільш вживаним поняттям, що визначає технічний стан техніки є працездатність. Об'єкт вважається працездатним, якщо він може виконувати всі задані йому функції із збереженням значень заданих параметрів [1]. Отже працездатність, в найпростішому розумінні, можна оцінити ступенем зношуваності, механізмів і вузлів в цілому та їх деталей зокрема. Пошук та виявлення дефектів в процесах визначення технічного стану, як відомо, називають в загальному технічною діагностикою.

Удосконалення методів і засобів діагностики дозволяє суттєво підвищити боєготовність пожежної техніки, знизити затрати на технічне обслуговування і ремонт, продовжити строк служби тощо.

Технічна складова сил і засобів пожежної охорони в загальному плані складається із транспортних засобів, механічних передач, робочих механізмів і систем. В усіх названих елементах в процесі їх функціонування виникають коливальні процеси. Причому збудником цих коливань, звичайно, є джерело енергії, параметри коливань якого детерміновані і можуть служити базою для порівняння при оцінці тих же параметрів інших елементів технічного засобу.

Більшість видів механічних коливань в техніці називають вібраціями. Виникнення вібрацій пов'язане як роботою ведучого (ведучих) елемента (елементів) механічної системи, так і реакцією решти її елементів на збурення активної частини та реакцією робочого середовища.

Вібрації як негативне явище вказують на конструктивну і технологічну недосконалість новоствореного об'єкта, або на спрацювання (зношеність) об'єкта, що знаходиться в експлуатації. Однак дане негативне явище дає можливість застосувати його в корисних, з технічної точки зору, цілях, а саме для діагностики технічного стану цього самого об'єкта.

В області технічної діагностики накопичено величезний досвід в теорії, проектуванні і забезпеченні функціонування діагностичних систем, методів вимірювання діагностичних параметрів тощо [1- 4].

Діагностуванню технічного стану машин та оцінці ступеня їх зношеності на основі контролю параметрів вібрацій – вібродіагностиці – присвячено чимало теоретичних розробок на основі яких створено як найпростіші вібродіагностичні прилади (наприклад частотні фільтри), так і потужні агрегатні комплекси.

Варто відзначити, що більшість розроблених за раніше діагностичних систем і приладів є морально застарілими. Вони базуються на складних і малонадійних електронних приладах, в яких використовуються аналогові сигнали і відстала, за теперішніми мірками, елементна

база другого і третього поколінь. Аналогові сигнали, як найбільш поширені в більшості діагностичних систем, потребують багаторазових перетворень від фізичних до електричних значень і навпаки. Виникає необхідність у використанні прямих і зворотних перетворювачів, фільтрів, підсилювачів, модуляторів тощо. В кінцевому підсумку результати подібних замірів часто можуть бути викривленими і мало достовірними.

Наведемо хоча би два характерних приклади.

Структурна схема найпростішого вібродіагностичного пристрою - частотного фільтра (ВЧФ) (рис.1), включає індукційний або п'єзоелектричний віброперетворювач (ВП), узгоджувальний пристрій (УП), інтегратор (ІГ), частотний фільтр (ЧФ), детектор (ДТ), стрілковий індикатор (СІ) і блок світлової сигналізації (БСС).

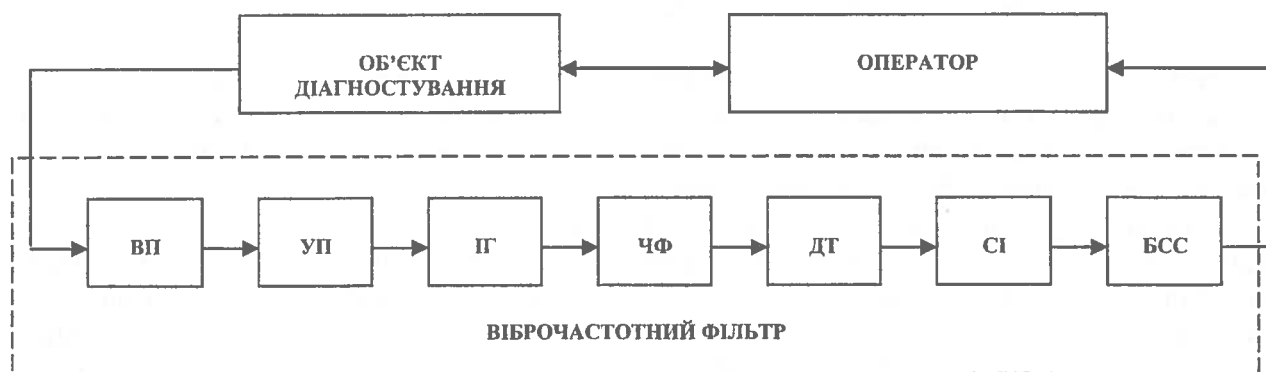


Рис.1. Структурна схема найпростішого вібродіагностичного пристрою

Як бачимо, навіть найпростіший за своїм функціональним призначенням пристрій за своєю структурою і будовою є не зовсім простим у технічному виконанні, а значить і використанні і обслуговуванні.

Структурна схема вібродіагностичної системи, яка використовується для попередньої обробки вібраційних сигналів показана на рис.2 [1].

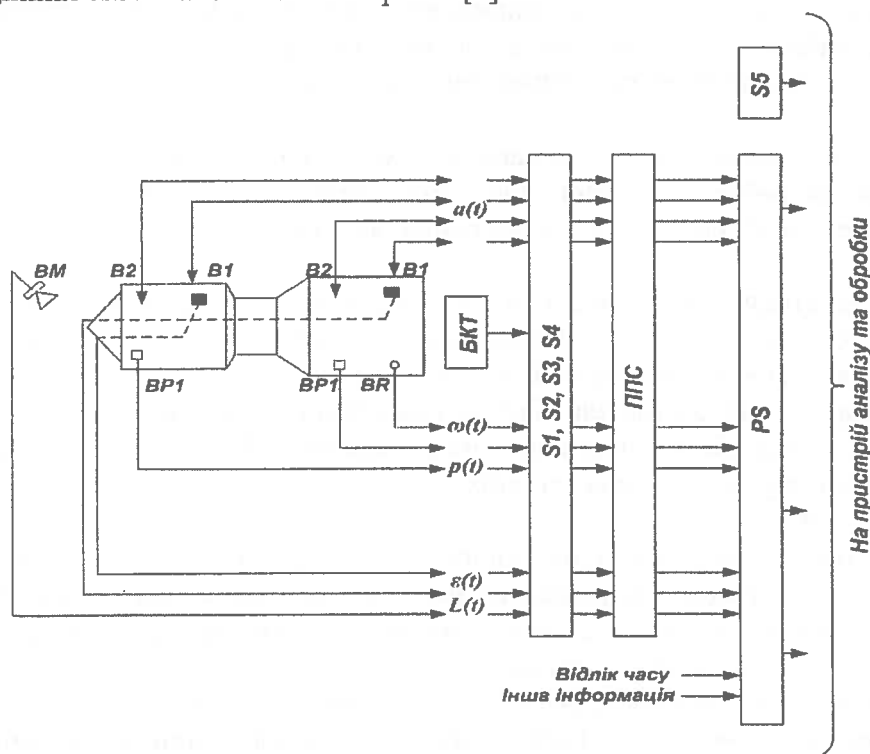


Рис.2. Структурна схема вібродіагностичної системи

Система працює таким чином. Сигнали вібрацій $a(t)$ із зовнішніх $B1$ і внутрішніх $B2$ віброперетворювачів, пульсацій тиску $p(t)$ з перетворювачів $BP1$, динамічних деформацій $\varepsilon(t)$ з тензорезисторів R , акустичного шуму $L(t)$ з мікрофона BM через комутатори $S1 - S4$, подаються на підсилювально-перетворювальний пристрій $ППС$. Керування комутаторами $S1 - S4$ здійснюється блоком BKT . Вібраційні сигнали, піддані попередній обробці в підсилювально-перетворювальному пристрої, подаються на магнітний реєстратор PS або через додатковий комутатор $S5$ можуть подаватись на вторинні аналізуючі пристрої. Одночасно з вібраційним сигналом на магнітний реєстратор або пристрої аналізу подаються сигнали відліку часу, швидкості обертання ротора $\omega(t)$ та інша інформація про режими роботи випробовуваного об'єкта. Сигнал швидкості $\omega(t)$ використовується для селекції в часі окремих ділянок вібраційних сигналів, синхронного налаштування відстежувальних фільтрів, кореляційного аналізу, а також для позначання обертів при записі процесів з допомогою магнітоелектричного осцилографа. Отриману інформацію піддають кореляційному, спектральному та іншим видам аналізу.

Описана діагностична система використовується тільки для виявлення діагностичних ознак і встановлення зв'язку між діагностованою деталлю і сигналом, що надходить з віброперетворювача. Причому дана система використовується тільки на першому етапі добування інформації, тобто вимірювання сигналів від перетворювачів, встановлених в різних місцях машини. Отримана інформація обробляється з метою виявлення найбільш інформативних ознак і сигналів. На другому етапі діагностики вимірюються сигнали від інформативних перетворювачів з наступною більш детальною їх обробкою для встановлення зв'язку між станом деталі і корисним сигналом.

Отже другий етап вирішення вібродіагностичної задачі вимагатиме вибору структурної схеми діагностичного агрегатного комплексу, де приведена для прикладу система буде тільки однією із складових цього комплексу. Причому, сама структура комплексу проектується для задач з достатньою кількістю апріорних даних об'єкта.

Наведений перший приклад, представляє собою тільки один елемент системи, а система, в свою чергу, тільки один елемент комплексу. Сам комплекс не може бути універсальним, оскільки різноманітність структури машинного парку, його складових, а також різноманітність цілей діагностування, вимагатиме створення досить чисельних груп таких комплексів.

Аналізуючи досвід минулих років, можна відзначити два основних аспекти в конструюванні, виробництві та експлуатації складної вібродіагностичної апаратури.

Перший аспект полягає в тому, що в умовах централізовано-планової економіки (а саме в цих умовах було багато теоретичних напрацювань і впроваджень їх у приладобудування), доля таких відносно дорогих проектів вирішувалась на галузевому рівні і фінансування їх було цілком можливе. Крім цього, завжди можна було економічно обґрунтувати ці проекти, оскільки ефект від їх впровадження завжди вважався загальнодержавним і тому вигідним в усіх аспектах технічного прогресу та економічної доцільності.

Другий аспект даного питання полягає у відсутності на той час доступної для масового виробництва компактної елементної бази електронних приладів, які працюють на цифрових сигналах. А це, звичайно, не могло сприяти спрощенню і здешевленню конструкцій приладів.

Як висновок з оцінки двох наведених аспектів можна сказати таке. В даний час, з урахуванням цілком протилежних до названих економічних умов функціонування виробничих і невиробничих систем, названі проблеми можуть вирішуватись простіше, дешевше і швидше в межах досить малих економічними одиниць (підприємства, лабораторії, технічні служби тощо). Крім цього, вибір методів і засобів діагностування окремих об'єктів необхідно здійснювати з урахуванням сучасних досягнень науково-технічного прогресу та економічної доцільності або доступності. Бурхливий технологічний скачок в розвитку

мікропроцесорної техніки за останні декілька років фактично перекреслив багато попередніх здобутків, особливо в галузі електронного приладобудування. Тому зараз відкриваються широкі можливості принципово нових підходів як в теоретичному так і в практичному напрямках проектування технічних засобів діагностики.

Найбільш характерними діагностичними ознаками, за якими можна зробити висновок про технічний стан машини, це зношення і деформації, бо вони в більшості випадків є першопричиною відмов. Саме зношені і деформовані деталі в першу чергу викликать збільшення вібрацій механізмів та їх деталей.

Як вже було сказано вище, за оцінкою параметрів вібрацій – наслідків відхилень при спрацюванні деталей і вузлів технічних засобів – можна здійснювати діагностику технічного стану. Необхідно вирішити при цьому такі питання: а) вибір методу діагностики; б) вибір параметрів діагностики; в) вибір засобів діагностики.

Вибір методу діагностики повинен базуватись на структурі об'єкта і характері його роботи. В якості об'єкта вибираємо, як вже було сказано, технічні засоби пожежогасіння, а саме: автомобільну техніку, насоси, передавальні пристрої, редуктори, підшипникові вузли, муфти тощо. Тобто машини і механізми, які містять джерело механічної енергії (це, як правило, двигун внутрішнього згоряння), проміжні вузли і механізми та виконавчі робочі органи. Отже основним джерелом виникнення вібрацій є двигун внутрішнього згоряння. Об'єктами дослідження вібрацій – цей же двигун та вузли і механізми, що приводяться ним в рух і виконують корисну роботу.

Звичайно, вимоги до вибраного методу діагностики повинні відповідати загальноприйнятим тенденціям і традиціям: досягти максимально ефективного результату при мінімальних затратах часу і ресурсів. Або детальніше - метод діагностики повинен бути простим, доступним, максимально інформативним, швидкодійним, дешевим тощо.

Виходячи із особливостей вибраних об'єктів діагностування з урахуванням вимог і сучасних тенденцій даного напрямку науково-практичних досліджень доцільно зупинитись на такому методі, як віброакустична діагностика. Не можна сказати, що даний метод є абсолютно новітнім. Область застосування методу в техніці достатньо широка і постійно зростає. Але для проаналізованих технічних об'єктів та умов експлуатації даний метод у найпростішому вигляді на даний час не застосовується. Що мається на увазі під найпростішим виглядом? Це наявність тільки двох основних елементів засобу діагностики. Для здійснення процесу діагностування потрібен пристрій для запису коливального процесу повітряного простору, збуреного вібраціями елементів машин та пристрій для обробки результатів запису. Простота методу відображається структурною схемою самого діагностичного пристрою (ВАД) (рис.3) Сигнали з досліджуваного об'єкта знімаються безконтактним способом. Контроль здійснюється без розбирання і порушення роботи механізмів та систем. Передача інформаційного сигналу відбувається через повітряний простір і немає необхідності в безпосередньому контакті з відповідними деталями.

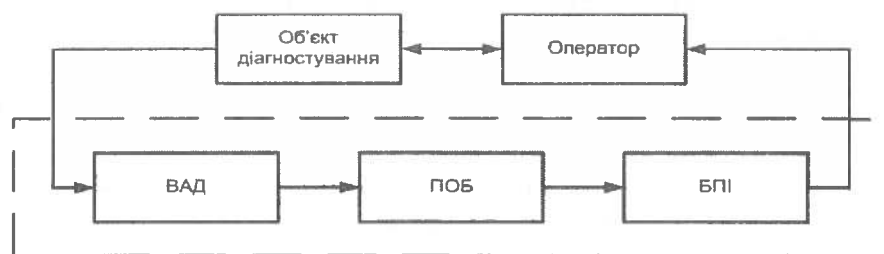


Рис.3. Структурна схема віброакустичного діагностичного пристрою

Пристрої для запису акустичних і шумових ефектів (датчики), які реєструють сигнали в широко регульованому діапазоні амплітуд і частот з цифровим вихідним сигналом

виготовляти спеціально для технічного діагностування немає потреби, тому що такі прилади відносяться до класу готової продукції широкого вжитку і широкої номенклатури.

Оскільки на виході із реєстратора акустичного сигналу можна знімати інформацію у цифровій формі, відпадає необхідність у перетворенні чи підсиленні сигналу приймального пристрою (датчика). Можливо, для зручності потрібно в деяких випадках застосувати масштабування сигналу, та для інформації у цифровому представленні це не становить суттєвих труднощів при подальшій її обробці.

Друга основна складова частина діагностичної системи – програмно-обчислювальний блок (ПОБ). Саме цей блок може обчислити і представити в потрібному вигляді (БПІ) ту інформацію про діагностичний об'єкт, яка шляхом порівняльного аналізу дасть можливість зробити висновки про слабкі місця діагностованого об'єкта чи його елементів, або про критичний стан технічної системи.

В якості другого основного елемента віброакустичного засобу діагностики може виступати звичайний персональний комп'ютер, причому не обов'язково великої потужності і швидкодії.

Окремо слід сказати про відбір параметрів діагностування, тобто вхідних сигналів системи. Необхідно контролювати ці параметри, про які наперед відомо, що їх зміна буде основною причиною втрати машиною її працездатності. Число таких параметрів може бути велике і їх одночасне визначення при діагностуванні, звичайно, викликає спричинює ускладнення. Відбір діагностичних параметрів вібрації, звичайно, залежить від досліджуваних механізмів, амплітудного і частотного діапазонів, а також і від цілей вібродіагностики.

Для виявлення відхилень в роботі механізмів в результаті зношування деталей відпадає необхідність у визначенні вібропереміщень, віброшвидкості, віброприскорень. Вібропереміщення визначають у тих випадках, коли необхідно знати зміщення або деформацію. У нашому випадку це вже ознака поломки механізму. Швидкість вібрації вивчають при оцінці її дії на організм людини. Це виходить за рамки поставленої задачі діагностики технічного стану, оскільки пожежна техніка не призначена для масового транспортного обслуговування. Віброприскорення вимірюють при оцінці вібронадійності вібромеханізмів. В пожежній техніці практично не використовуються такі механізми.

Отже, запропоноване використання віброакустичного датчика відповідає на питання відбору параметрів. Акустичні параметри діагностики – це група параметрів, до яких входять: звуковий тиск, об'ємна швидкість, звукова енергія, щільність звукової енергії, акустичний опір, інтенсивність звуку, висота звуку, гучність звуку тощо.

Звукова енергія, розсіяна в часі, представляє собою реалізацію часового ряду, який містить в собі немало інформації про досліджуваний об'єкт. Такі часові ряди можна вивчати тільки на основі використання апарату теорії ймовірностей і математичної статистики. Найбільш повну інформацію про поведінку коливальної системи можна отримати досліджуючи частотний склад процесу, тобто його спектральну густину (щільність).

Аналіз часових рядів широко використовується в багатьох галузях техніки. Практична сторона питання полягає в одержанні робочих формул, аналізі особливостей оцінки спектра за реалізацією процесу кінцевої довжини. Спектральну густину можна знаходити двома способами: перетворенням Фур'є реалізації процесу, або через обчислення кореляційної функції з наступним її перетворенням Фур'є. Використовуючи прямий метод перетворення Фур'є ряду з N членів, необхідно приблизно N^2 операцій. При цьому способі виникає також складність вибору оптимального згладжування спектральної оцінки. Скорочення часу обчислень можна досягнути при використанні алгоритму швидкого перетворення Фур'є ($2 N \log_2 N$) операцій [5]. З допомогою цього методу є можливість швидше обчислити вибіркового спектра і потім згладити його, ніж обчислювати кореляційну функцію, згладжувати її кореляційним вікном з наступним перетворенням Фур'є. Однак швидкість

обчислень при використанні сучасних швидкодіючих машин не є якоюсь важливою перевагою. Якщо ще врахувати суттєві недоліки алгоритму швидкого перетворення Фур'є, такі як необхідність додаткової обробки для згладжування і обмеження на довжину реалізації (алгоритм вимагає 2^n точок для обробки), то можна утриматись від використання цього методу. Спосіб визначення спектра процесу через обчислення кореляційної функції володіє рядом важливих переваг. По-перше, кореляційна функція вже на першій стадії спектрального аналізу дає деяку інформацію про процес; по-друге, вона дає вікна. За допомогою кореляційної функції визначається необхідна довжина запису випадкового процесу, може бути оцінена його стаціонарність, наявність детермінованих складових.

Враховуючи викладені переваги частіше використовують другий спосіб визначення вибіркової спектральної оцінки випадкового процесу коливань. Для цифрових даних x_t , $t=1,2,\dots, N$, що відповідають значенням сигналу $x(t)$, відрхованого через інтервали Δ , згладжена вибірка оцінка спектра отримується шляхом заміни інтеграла

$$\bar{C}_x(f) = \int_{-\infty}^{\infty} \omega(U) C_x(U) E^{-j2\pi f U} du = \int_{-\infty}^{\infty} \bar{C}_x(U) E^{-j2\pi f U} du \quad (1)$$

відповідною сумою

$$\bar{C}(f) = \Delta \sum_{K=-(L-1)}^{L-1} \omega(K) C_x(K) E^{-j2\pi f K \Delta}, \quad -\frac{1}{2\Delta} \leq f < \frac{1}{2\Delta} \quad (2)$$

Вибіркова оцінка кореляційної функції рівна

$$C_x(K) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N-K} (x_i - \bar{x})(x_{i+K} - \bar{x}), \quad -(N-1) \leq K \leq N-1 \quad (3)$$

У формулі (2) $L=M/\Delta$ і $\omega(K)$ означає кореляційне вікно з точкою відсіку M , визначене в моменти часу $u=k*\Delta$.

Оскільки $\bar{C}(f)$ – парна функція частоти, її потрібно вираховувати тільки для інтервалу частот $0 \leq f \leq \Delta/2$. Для збереження співвідношення перетворень Фур'є між вибірковою спектральною оцінкою і вибірковою кореляційною функцією потрібно подвоїти спектральну потужність в інтервалі частот $0 \leq f \leq \Delta/2$. Тоді

$$\bar{C}_x(f) = 2\Delta \left[C_x(0) + 2 \sum_{k=1}^{L-1} C_x(K) \omega(K) \cos 2\pi f k \Delta \right] \quad (4)$$

Формули (3) (4) вибрані за основу при складанні програми для побудови спектральних характеристик.

Проблеми створення програмного забезпечення для цифрової обробки віброакустичних сигналів, розгляд практичних особливостей перетворення Фур'є кореляційної функції, визначення обсягу вибірки, вибору кроку дискретизації і ширини спектрального вікна будуть розглянуті в наступній публікації.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Технические средства диагностирования: Справочник*/В.В.Клюев, П.П.Пархоменко, В.Е.Абрамчук и др., Под общ. Ред. В.В.Клюева - М.: Машиностроение, 1989. – 672 с., ил.
2. Колчин А.В., Бобков Ю.К. *Новые средства и методы диагностирования автотракторных двигателей* - М.: Колос, 1982. – 110 с., ил.
3. *Исследование динамики и прочности пассажирских вагонов*. Под ред. С.И.Соколова. – М.: Машиностроение, 1976. – 223 с., ил.
4. *Электрические измерения неэлектрических величин* / А.М.Турчин, П.В.Новицкий, Е.С.Левшина и др. – Л.: Энергия, 1975. – 576 с., ил.
5. Дженкинс Г., Ваттс Д. *Спектральный анализ и его приложения, т.1,2* – М.: Мир, 1971. – 603 с.